

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavebná

Katedra konštrukcií

Konštrukcia športovej haly na báze dreva a ocele

The structure of the sport hall on the wood and steel base

Študent:

Bc. Ján Rudinský

Vedúci diplomovej práce:

Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavební mechaniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ján Rudinský**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb  
Téma: **Konstrukce sportovní haly na bázi dřeva a oceli**  
**The structure of the sport hall on the wood and steel base**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Dispoziční řešení navrhovaného objektu.
- 2) Návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů v mezním stavu únosnosti i použitelnosti.
- 3) Posudek požární odolnosti vybraných prvků sportovní haly.
- 4) Detailní analýza vybraných typů spojů.
- 5) Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- 4) ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- 5) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály.
- 6) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů.

## Diplomová práce

---

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Mikolášek, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 01.12.2017



---

doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
*děkan fakulty*

**Prehlásenie študenta**

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave, 1.12.2017

**Prehlasujem:**

- Bol som oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, najmä §35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitia školského diela a §60 – školské dielo.
- Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo bezodplatne používať k svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu (§35 odst. 3).
- Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- Bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením používať dielo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bolo dohodnuté, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej použitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- Beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave, 1.12.2017

### **Abstrakt:**

Obsahom tejto diplomovej práce je návrh konštrukcie športovej haly s dôrazom na materiálové riešenie na báze dreva a ocele. V úvodnej časti je načrtnutá problematika z teoretického hľadiska. V jadre práce je pozornosť venovaná zhodnoteniu možných alternatív z rôznych hľadísk. V závere práce je vybraná preferovaná varianta, ktorá najlepšie spĺňa špecifikované požiadavky. Táto varianta je následne posúdená podľa platných technických noriem a výsledky sú prezentované v podobe statického výpočtu a výkresovej dokumentácie.

### **Abstract:**

This final thesis concerns with a design of construction of the sport hall with an emphasis on a wooden and steel material solutions. The basic theoretical facts are described in the introduction of the work. The evaluation of possible alternatives from different views is stated in the core of the work. The preferred variant of the design which has all specific requirements is found in a conclusion. This best variant is then reviewed according to valid technical norms and results are presented in the form on statical calculation and design technical documentation.

### **Kľúčové slová:**

konštrukcia, šport, hala, drevo, oceľ, lepené lamelové drevo, rám, rámový roh, eurokód, LLD

### **Keywords:**

structure, sport, hall, wood, steel, glulam, Eurocode, portal frame,

**Obsah:**

1. Úvod.....	10
2. Drevo a materiály na báze dreva.....	11
2.1. Všeobecne.....	11
2.2. Rastené drevo .....	11
2.3. Lepené lamelové drevo.....	12
2.4. Iné materiály na báze dreva .....	13
3. Lepené lamelové drevo .....	15
3.1. História .....	15
3.2. Výhody a nevýhody.....	15
3.3. Výroba .....	16
3.4. Predpisy a normy .....	17
3.5. Využitie .....	17
3.6. Vlastnosti .....	17
Rozmerová a tvarová variabilita .....	17
Požiarna odolnosť.....	18
Pevnostné charakteristiky .....	18
Environmentálny dopad .....	18
3.7. Posudzovanie prvkov z LLD .....	19
Všeobecne .....	19
Stanovenie návrhových hodnôt .....	19
Triedy trvania zaťaženia a triedy použitia .....	20
Posudzovanie LLD v medznom stave únosnosti.....	22
Posudzovanie LLD v medznom stave použiteľnosti.....	23
4. Koncepcia návrhu .....	26
4.1. Zadanie .....	26
4.2. Investor a jeho požiadavky .....	26
4.3. Kapacitné riešenie.....	26
4.4. Typológia a dispozícia.....	26
4.5. Architektúra a urbanizmus.....	28
4.6. Geometria a tvarové riešenie .....	28
4.7. Poloha, situácia, osadenie do terénu, základové pomery .....	29
4.8. Voľba konštrukčných materiálov .....	30
4.9. Ďalšie vstupné informácie a predpoklady .....	30

5.	Konštrukčné riešenie.....	32
5.1.	Varianty konštrukčného riešenia – výhody, nevýhody .....	32
5.2.	Výber varianty .....	34
6.	Návrh.....	37
6.1.	Konštrukcia a vstupné parametre pre model .....	37
	Geometria - pôdorys a rez.....	37
	Prierezy .....	37
	Trieda trvania zaťaženia, trieda použitia, modifikačný súčiniteľ.....	41
	Materiály, parciálne súčinitele spoľahlivosti materiálov.....	41
6.2.	Výpočetný model.....	43
	Kĺby na koncoch prútu:.....	43
	Excentricity prútov: .....	43
	Uzlové podpory: .....	43
	Zaťaženie – zaťažovacie stavy: .....	44
	Účinky zaťaženia:.....	51
	Kombinačné pravidlá:.....	52
	Kombinácie zaťažení:.....	52
	Výpočetný model:.....	52
6.3.	Výsledky .....	53
	Drevený polorám z lepeného lamelového dreva .....	53
	Drevená väznica.....	53
	Stĺp štítovej steny .....	53
	Oceľový stredový stĺp .....	53
	Strešné ztužidlá (ťahlo).....	53
6.4.	Posúdenie.....	53
	Drevený polorám z lepeného lamelového dreva .....	53
	Drevená väznica.....	53
	Stĺp štítovej steny .....	54
	Oceľový stredový stĺp .....	54
	Strešné ztužidlo (ťahlo).....	54
7.	Záver .....	55
8.	Bibliografia .....	56
9.	Prílohy.....	57



**Zoznam použitého značenia:**

Význam použitých značiek vyplýva priamo z textu.

## 1. Úvod

Zadaním diplomovej práce je konštrukcia športovej haly na báze dreva a ocele. Téma riešenia podobných konštrukcií je pomerne bežná a k danej problematike možno dohľadať viacero odborných publikácií, článkov a podobných záverečných prác. Nejde teda o výnimočnú tému diplomovej práce, pri ktorej by sa dalo predpokladať, že prinesie do inžinierskej praxe významné výsledky vedeckého charakteru. Zadanie tejto práce vnímam skôr ako možnosť prakticky overiť výsledky svojho štúdia a prezentovať svoje vedomosti v podobe formálnych inžinierskych výstupov – výpočtu a výkresovej dokumentácie.

V súčasnosti vzniká nielen v športovom odvetví mnoho zaujímavých stavieb a veľa z nich môžeme označiť pojmom impozantné. Materiálové riešenie týchto objektov je variabilné a mení sa na základe miestnych zvyklostí alebo je priamo podmienené požiadavkou investora alebo prichádza dôraz na materiálové riešenie od architekta. Z tohto titulu vznikajú vo svete športu naozaj zaujímavé objekty rôzneho materiálového riešenia. Osobne som vždy považoval drevo za unikátny materiál. Preto aj výber tejto diplomovej práce bol odrazom osobných sympatií k materiálu ako takému a zároveň možnosťou a príležitosťou zdokonaľiť svoje vedomosti v oblasti drevených konštrukcií. Táto diplomová práca je prezentáciou teoretických poznatkov a informácií a ich následnej aplikácii v procese navrhovania konštrukcie športovej haly od architektonického stvárnenia objektu až po konštrukčné riešenie.



Obrázok 1 - Architektonické stvárnenie objektu športovej haly

## **2. Drevo a materiály na báze dreva**

### **2.1. Všeobecne**

Drevo ako stavebný materiál malo vo svete konštrukcií, rovnako ako dnes, vždy svoje dôležité miesto. Ľudová architektúra v minulosti využívala drevo ako stavebný materiál pre konštrukcie stavieb obytných budov, hospodárskych budov alebo dočasných stavieb. Prirodzene šlo o drevo rastené, preto bolo jeho použitie a využitie v rámci stavebných konštrukcií limitované predovšetkým jeho dostupnosťou v danej lokalite alebo možnosťami dopravy na miesto zhodnotenia.

Vo svete bolo drevo ako plnohodnotný stavebný materiál využívané už stovky rokov pred našim letopočtom – napr. Číňania vytvorili sofistikovaný modulový systém pre drevené stavby, pozostávajúci zo stĺpov usporiadaných v rastrí. Tieto stĺpy tvorili podpory pre stropné nosníky, tie následne tvorili podpory pre ďalšie strešné nosníky (1). Šlo o súbory jednoduchých prvkov spojených špecifickými prípojami typickými pre danú kultúru a odzrkadľujúc stupeň vývoja a stavbárskeho umenia. Podobné systémy drevených konštrukcií sa samozrejme začali objavovať paralelne i v ďalších kultúrach a tiež v Európe.

V rámci Slovenska vznikalo v minulosti mnoho svetských a sakrálnych stavieb z dreva, ktoré dnes môžu byť plnohodnotnou inšpiráciou pre mnohých odborníkov. Pre súčasných architektov predovšetkým čo sa týka architektonického rázu a stvárnenia, ale tiež vzorom a inšpiráciou pre profesionálov z oblasti konštrukcií stavieb – na mnohý historických stavbách totiž môžeme vidieť množstvo špecifických detailov a spojov drevených konštrukcií typu drevo-drevo, respektíve tesárskych spojov, pre ktoré už v moderných konštrukciách postupne strácame uplatnenie, no z hľadiska odborného a profesného dodnes zostávajú významnou epochou v procese vývoja, uplatnenia a zdokonaľovania drevených konštrukcií.

### **2.2. Rastené drevo**

Drevo je organickým, nehomogénnym, anizotropným a hygroskopickým materiálom. Jeho chemické zloženie sa medzi jednotlivými druhmi drevín v podstate nemení a zostáva približne rovnaké – približne 49,5% uhlík, 44,2 % kyslík, 6,1 % vodík, 0,2 % dusík (2).

Tieto prvky sa v rámci chemickej štruktúry dreva vyskytujú v rámci rôznych zložitých organických látok. Ide predovšetkým o celulózu, hemi-celulózu, cukry, lignit a ďalšie

sprievodné látky ako napr. prchavé kyseliny, éterické oleje, alkoholy, farbivá, minerálne zlúčeniny a ďalšie (2).

Rastené drevo ako stavebný materiál môžeme primárne rozdeliť na dve skupiny - drevo ihličnatých drevín, čiže takzvané mäkké drevo a drevo listnatých drevín, takzvané tvrdé drevo.

Spomedzi ihličnatých drevín nájde v konštrukciách stavieb uplatnenie predovšetkým drevo smrekové. Ide o drevo bielej až žltobielej farby, ktoré je v podmienkach v ktorých nie je vystavené trvalej vlhkosti alebo opakovaným cyklom striedavého navlhnutia a vysychania trvanlivé. Drevo smrek je ľahké a pružné, ľahko opracovateľné a vhodné na lepenie. Vzhľadom na vyššie uvedené vlastnosti a jeho výskyt a dostupnosť v rámci skladby celkového lesa je na území Slovenska významnou drevnou surovinou pre uplatnenie v rámci konštrukcií na báze dreva, či už ako primárny materiál – rastené drevo (konštrukčné rezivo) alebo ako zdrojovou surovinou v procesoch ďalšieho zhodnocovania – napr. výroby lepeného lamelového dreva.

Ako každý materiál, tak aj drevo má špecifické vlastnosti, ktoré môžu jeho použitie limitovať, vylučovať alebo obmedzovať. Keďže ide o nehomogénny a anizotropný materiál, tak sú jeho tepelné, elektrické, akustické, ale najmä mechanické vlastnosti rozdielne v rôznych smeroch vzhľadom na smer vlákien. Ďalším významným faktorom, ktorý môžeme u rasteného dreva uvažovať s významnými obmedzeniami sú jeho konštrukčné rozmery. Tie sú samozrejme primárne limitované samotnými rozmermi zdrojovej drevnej hmoty, na druhej strane treba spomenúť skutočnosť, že mechanické vlastnosti dreva sa so zväčšujúcim konštrukčným rozmerom zhoršujú, ďalej významný vplyv spôsobu a charakter rastu v rámci lesného porastu, prítomnosť nehomogenít a v neposlednom rade vplyv trhlín z vysychania. To všetko sú faktory, ktoré umožňujú použitie dreva vo svojej prirodzenej forme ako konštrukčného reziva do istej prirodzenej medze. Na základe vyššie uvedeného v rámci inžinierskej praxe sú zaužívané bežné a typické rozmery konštrukčného reziva a tiež splnenie predpísanej kvalitatívnej triedy s ohľadom na vylúčenie alebo obmedzenie spomínaných nehomogenít materiálu.

### **2.3. Lepené lamelové drevo**

Lepené lamelové drevo, ktoré sa v odbornej literatúre vyskytuje pod skratkou LLD, alebo v cudzojazyčnej literatúre ako BSH – Brettschichtholz, resp. BS-Holz alebo Glued laminated timber alebo skrátene „glulam“ je vysoko hodnotný stavebný materiál na báze dreva, ktorého výroba spočíva v sofistikovanom spôsobe spájania viacerých drevených lamiel v pozdĺžnom

alebo priečnom smere do konečného výrobku. Výsledný produkt spĺňa v podstate rovnaké estetické požiadavky ako drevo, čím sa plnohodnotne stáva adekvátnou alternatívou tradičnému konštrukčnému rezivu, navyše dokáže takmer neobmedzene plniť požiadavky statické. Výrobný proces lepeného lamelového dreva nepozná takmer žiadne výrobné obmedzenia čo týka tvaru, profilu, rozmerov. Významnou charakteristikou, ktorá v mnohých prípadoch rozhoduje pri výbere vhodného konštrukčného materiálu je aj možnosť výroby zakrivených prvkov. Na druhú stranu je dôležité spomenúť, že hoci výrobné možnosti LLD sú naozaj široké, významným limitujúcim faktorom môžu byť, a často krát aj sú, možnosti prepravy výrobkov priamo na miesto konečného zabudovania.

## **2.4. Iné materiály na báze dreva**

Rastené drevo obsahuje vzhľadom na podmienky, miesto a spôsob rastu mnohé nedostatky, ktoré môžeme na dreve pozorovať najčastejšie v podobe hrčíc a prasklín. Určitý výskyt nedostatkov je pre použitie v konštrukciách stavieb bezvýznamný, nakoľko proces navrhovania a posudzovania drevených konštrukcií pracuje s charakteristikami dreva, ktoré vplyv nedostatkov v štruktúre zohľadňujú. Istý výskyt nedostatkov v drevnej hmote už obmedzuje možnosti použitia drevnej hmoty na výrobu konštrukčného reziva respektíve na výrobu lamiel pre výrobu LLD, nakoľko takýto materiál by už výrazne ovplyvnil mechanické vlastnosti výrobku.

Drobením a následným znova spojením drevnej hmoty ale vznikajú materiály na báze dreva, ktoré eliminujú vplyv rastových nedostatkov a vznikajú nové plnohodnotné materiály s deklarateľnými charakteristikami a možnosťou zabudovania ako stavebných výrobkov do konštrukcií stavieb.

Medzi materiály na báze dreva patria:

- pleglejkové dosky – vyrábajú sa lepením z nepárneho počtu lúpaných alebo krájaných dýh, ktoré sú usporiadané tak, že zvierajú uhol  $90^\circ$ . Minimálny počet sú tri vrstvy dyhy
- vláknité dosky – poznáme výrobu vláknitých dosiek mokrým alebo suchým procesom. Suchým procesom sa vyrábajú polotvrde vláknité dosky – takzvané MDF dosky. Mokrým procesom môžu vznikať dosky mäkké, polotvrde a tvrdé a to predovšetkým v závislosti od množstva, spôsobu a typu pridávaných látok. Vláknité

dosky sa vyrábajú z odpadného materiálu piliarskej výroby a to za pôsobenia tlaku a tepla

- trieskové dosky – základom pre výrobu sú triesky zmiešané s lepidlami, ktoré sa za tepla lisujú medzi ohraničenými doskami lisu – vznikajú tabule konkrétnych veľkostí. Alternatívne sa pripravená zmes pretláča cez štrbinu výrobného zariadenia a vzniká nekonečný pás – následne sa výrobok reže na požadované rozmery
- vrstvené dyhované dosky – je materiál podobný pleglejkám, počet dýh nie je však presne určený a ich orientácia je v zhodnom smere
- OSB dosky – sú v súčasnej veľmi využívaným materiálom na báze dreva, výhodou je predovšetkým nízka objemová hmotnosť a pomerne vysoká kvalita vzhľadom na cenu. OSB dosky vznikajú listovaním triedených triesok požadovaných veľkostí, obalených lepidlom, špecifická je však orientácia okrajových vrstiev triesok – ploché triesky krajných vrstiev majú orientáciu zhodnú s orientáciou pozdĺžnej osi prvku. Triesky umiestnené v strede buď nemajú špecifickú orientáciu alebo sú orientované kolmo na pozdĺžnu os dosky



Obrázok 2 - OSB doska, zdroj [www.obi.sk](http://www.obi.sk)

### **3. Lepené lamelové drevo**

#### **3.1. História**

Technológia spájania viacerých lamiel lepením do jedného výsledného prvku vznikala už v 19. storočí v Anglicku. O plnohodnotnom LLD môžeme hovoriť však od roku 1906 kedy Otto Hetzer podal priemyslový patent na lepené nosníky z viacerých lamiel. Technológia LLD sa od tých čias vo svojej podstate významne nezmenila, dodnes ide o spájanie drevených lamiel tak, aby drevné vlákna boli navzájom rovnobežné.

Za významnú zmenu v oblasti výroby LLD môžeme však považovať vývoj lepidiel, ktoré sú nevyhnutnou technologickou súčasťou výroby. Do začiatku 50. rokov sa používali kaseínové lepidlá, takzvané gleje – lepidlá živočíšneho pôvodu, napríklad z odtučneného mlieka. Tieto lepidlá pochopiteľne nevykazovali požadovanú odolnosť voči externým vplyvom, nemali požadovanú životnosť a s rozvojom stavebnej chémie ich vymenili iné. Veľkým pokrokom v oblasti LLD bolo použitie resorcinol-formaldehydového lepidla. K jeho významnej vlastnosti patrila predovšetkým schopnosť zachovávať svoje vlastnosti i vo vlhkom prostredí. Od tohto momentu bolo možné využívať touto technológiou lepené prvky i vo vonkajšom prostredí. Ďalej sa začalo využívať lepidlo melamin-formaldehydové. V súčasnej dobe sa na výrobu LLD využívajú lepidlá bezformaldehydové.

Významným míľnikom v histórii bolo tiež vynájdenie zubovitého spoja, ktorý sa využíva na dĺžkové napojenie jednotlivých lamiel. Použitie tohto spoja v rámci prvku je v podstate neobmedzené, z čoho vyplýva možnosť výroby takzvaného nekonečného prvku. Zubovitý spoj zároveň umožňoval a dodnes umožňuje hospodárnejšie využitie drevnej hmoty nakoľko nie je problém lamely skrátiť s cieľom extrakcie častí s materiálovými nedostatkami a následne kratšie lamely opätovne po dĺžke napojiť. Dnes po vyše sto rokoch od vynájdenia je technológia lepeného lamelového dreva absolútne bežnou súčasťou inžinierskej praxe a vďaka patentu z roku 1906 vzniká každým rokom mnoho architektonicky výnimočných stavieb.

#### **3.2. Výhody a nevýhody**

Ako každá technológia, tak aj LLD nesie so sebou radu výhod a nevýhod, ktoré jej použitie v rámci určitého stavebného zámeru predurčujú, obmedzujú alebo úplne vylučujú.

Medzi obrovské výhody patrí jednoznačne už spomínaná možnosť výroby prvkov s takmer neobmedzenými výrobnými rozmermi. Je dôležité podotknúť, že hoci to daná technológia umožňuje, zákonite to nemusí znamenať, že sa bežne vyrábajú prvky extrémnych rozmerov. Aj v prípade návrhu konštrukcií z lepeného lamelového dreva ide o súlad výrobných možností, skúseností projektanta, estetických a architektonických požiadaviek, možností dopravy a samozrejme požiadaviek z hľadiska hospodárnosti. V prípade LLD väčšinou nie sú limitujúce požiadavky z hľadiska statiky, ani z pohľadu výrobných možností, ale práve možností dopravy. V každom prípade sa bežne vyrábajú prvky z LLD o dĺžke do 35 m, výšky nosníka do 2,5 m a zakrivenia  $R_{\min} = 1,5$  m. Teoreticky je však možné navrhovať konštrukcie ľubovoľných tvarov s rozponom presahujúcim 100 m i viac, čo sa môže zdať pre laickú verejnosť takmer neuveriteľné, vo svete odborníkov venujúcim sa výrobe a navrhovaniu konštrukcií z LLD sú však takéto čísla známe.

Veľmi významnou výhodou je samozrejme vysoká estetická hodnota, zároveň výnimočná tvarová a konštrukčná variabilita. Výhodou je aj požiarne odolnosť. Rýchlosť odhorievania je jasne deklarovaná a je pomerne jednoduché navrhovať tieto konštrukcie na účinky požiaru. Vynikajúce statické vlastnosti priamo súvisia s vlastnosťami dreva samotných lamiel z ktorých výrobok vzniká a samozrejme z možností výroby (rozmery prvku). Vďaka týmto predpokladom vzniká materiál, ktorý má vynikajúci pomer hmotnosti a únosnosti a umožňuje vysokú mieru prefabrikácie.

Medzi významnú nevýhodu, ktorá môže výrazne prispieť k rozhodnutiu o voľbe materiálu je cena. Ako aj v prípade ďalších vysokohodnotných konštrukčných materiáloch, tak aj v prípade LLD je cena asi najväčšou nevýhodou.

### 3.3. Výroba

LLD je materiál, ktorý sa vyrába v špecializovaných výrobných halách z bežného stavebného reziva požadovanej kvalitatívnej triedy. Najprv sa pristúpi k príprave materiálu súčasťou ktorého je vizuálna kontrola prípadných nedostatkov stavebného reziva. Samotný proces výroby spočíva v plošnom spájaní (lepení) minimálne dvoch rovnobežných lamiel s opracovanou hrúbkou cca od 6 mm do 45 mm. Voľba hrúbky použitých lamiel prebehne s ohľadom na požadovaný polomer zakrivenia. Dĺžka lamely nie je obmedzená, využíva sa nastavovanie lamiel zubovitým spojom – v takom prípade tento proces predchádza samotnému plošnému lepeniu lamiel. Lepená špára medzi jednotlivými lamelami, rovnako tak zubovitý



spoj nie sú „slabým miestom“, a teda nemajú negatívny vplyv na mechanické vlastnosti dreva a z tohto dôvodu sa výsledný prvok posudzuje ako celistvý profil. Po nanesení lepidla prebehne lisovanie prvku a po vytvrdnutí lepidla vzniká kompaktný prvok požadovaného rozmeru a tvaru. Následne je takýto prvok ešte ofrézovaný pre dosiahnutie požadovanej rozmerovej presnosti a odstránenie zvyškov lepidla, brúsený, sú vyhotovené montážne otvory, diery pre spojovacie prostriedky a prípadne je prvok morený či lakovaný.

### **3.4. Predpisy a normy**

Základnou normou, ktorá stanovuje požiadavky na lepené lamelové drevo je v Českej republike ČSN EN 14080 (73 2831). V Slovenskej republike je to STN EN 14080 (73 1713). Obe sú národnými verziami európskej normy EN 14080. Táto norma stanovuje základné požiadavky na výrobu lepeného lamelového dreva a jeho použitie v pozemných stavbách a mostoch.

Kvalitatívne zatriedenie lamiel – ČSN 73 2824. Navrhovanie drevených konštrukcií z lepeného lamelového dreva podľa ČSN 73 1702 resp. STN/ČSN EN 1995.

### **3.5. Využitie**

Ideálnym využitím lepeného dreva sú veľkorozponové objekty. Najčastejšie sa využíva na konštrukcie pre stavbu športových, výrobných alebo skladových hál, tiež poľnohospodárskych budov. Postupne sa začína uplatňovať aj pri stavbách občianskeho vybavenia a tiež rodinných domov. Prvky z lepeného lamelového dreva sú určené pre namáhané konštrukcie striech, stropov, prievlaky, nosníky, stĺpy a podobne.

### **3.6. Vlastnosti**

#### *Rozmerová a tvarová variabilita*

Rozmerová variabilita, možnosti a okolnosti voľby konštrukčných rozmerov s ohľadom na výrobné možnosti, technologické možnosti a možnosti dopravy boli popísané vyššie. Rovnako tak boli spomenuté možnosti tvarovej variability – teda možnosť prvkov z LLD ohýbať na požadované zakrivenia. V súvislosti s vyššie uvedeným je dôležité tiež spomenúť možnosti nadvýšenia konštrukčných prvkov a to s ohľadom na predpokladané uvažované priehyby od zaťaženia konštrukcie.

### *Požiarna odolnosť*

Deklarovanie požiarnej odolnosti významných prvkov sa stala bežnou súčasťou návrhu akýchkoľvek konštrukcií. LLD má z pohľadu požiarnej odolnosti veľmi dobré vlastnosti. Rýchlosť odhorievania je presne definovaná a jej hodnota sa pohybuje okolo 0,6 mm za minútu. Na základe poznania týchto vlastností je možné pomerne jednoducho a rýchlo navrhnúť prierez, ktorý bude zodpovedať predpokladanému zaťaženiu v bežnej návrhovej situácii, ale zároveň vyhovie aj za predpokladu mimoriadnej situácie za požiaru s uvažovaním požadovanej požiarnej odolnosti.

### *Pevnostné charakteristiky*

LLD sa pre použitie v konštrukciách zaraďuje do pevnostných tried s jasne špecifikovanými materiálovými vlastnosťami. Medzi najpoužívanéjšie triedy pevnosti patrí LLD triedy: GL24h, GL28h, GL32h a GL24c, GL28c, GL32c. Rozdiel medzi triedami s označením „h“ alebo „c“ je v tom, že kým „h“ značí homogénne LLD, ktoré je vyrobené z lamel rovnakej pevnosti, tak „c“ ako kombinované drevo je vyrobené z lamel rozdielnych pevností. Pri kombinovanom dreve vnútorné lamely v oblasti dvoch tretín výšky prierezu patria k triede pevnosti o jeden stupeň nižšej než vonkajšie lamely v oblasti jednej šestiny výšky prierezu. Ďalej je umožnené zabudovať v oblasti do 10% výšky prierezu v mieste okolo neutrálnej osi lamely ešte nižšej pevnosti, ale iba za predpokladu, že ide o konštrukčné prvky, ktoré sú namáhané ohybom. Označenie triedy pevnosti zároveň symbolizuje charakteristickú odolnosť materiálu v ohybe. Pri triedach homogénneho LLD môžeme vychádzať z faktu, že pevnosť materiálu v tlaku rovnobežne s vláknami sa rovná pevnosti v ohybe. Pevnosť materiálu v ťahu rovnobežne s vláknami je cca 70% pevnosti v ohybe. Pevnosť v tlaku kolmo k vláknám a pevnosť v šmyku zas približne 10% pevnosti v ohybe. Pevnosť LLD v ťahu kolmo k vláknám je v porovnaní s ohybovou pevnosťou minimálna. Priemerná hodnota modulu pružnosti je v rámci vyššie uvedených pevnostných tried v rozmedzí 11 600 MPa – 13 700 MPa.

### *Environmentálny dopad*

Ďalšou významnou vlastnosťou LLD je pozitívny vzťah k životnému prostrediu. V súčasnosti sa v rámci mnohých odvetví venuje pozornosť trvalo udržateľnému rozvoju. Lepené drevo aj napriek tomu, že ide o vysoko hodnotný materiál, vyrábaný dôslednými technologickými procesmi, stále ostáva materiálom prírodným a prirodzeným a jeho dopad na

životné prostredie zostáva minimálny a to v rámci celého životného cyklu prvku či celej konštrukcie – výroby, užívania a prípadnej likvidácie a následnej recyklácie.

### 3.7. Posudzovanie prvkov z LLD

#### *Všeobecne*

V súčasnej dobe sú v Českej republike v platnosti súčasne dve normy, ktoré sa zaoberajú navrhovaním a posudzovaním prvkov z lepeného lamelového dreva.

Platí norma ČSN 73 1702 – Navrhovanie, výpočet a posudzovanie drevených stavebných konštrukcií. Táto norma nie je európskou normou, ale je v súlade s koncepciou Eurokódov. Druhou normou je ČSN EN 1995, takzvaný Eurokód 5, pozostávajúci z troch častí:

ČSN EN 1995-1-1    Obecné pravidla a pravidla pre pozemné stavby;

ČSN EN 1995-1-2    Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;

ČSN EN 1995-2    Mosty.

V Slovenskej republike platila do roku 2010 STN 73 1701, v tomto roku ju však nahradila európska norma zo sústavy Eurokódov - pre drevené konštrukcie STN EN 1995.

Drevo je organický, nehomogénny a anizotropný materiál, čo sa vo významnej miere prejavuje na jeho pevnostných a tuhostných charakteristikách a následne pri stanovení príslušných odolností pri jednotlivých spôsoboch namáhania. Tieto vplyvy zohľadňuje Eurokód 5 definíciou príslušných súčiniteľov a stanovením takzvaných návrhových hodnôt pevnostných a tuhostných charakteristík.

#### *Stanovenie návrhových hodnôt*

Pri definovaní návrhových hodnôt sa postupuje podľa EN 1995 2.2.3.2, všeobecne podľa vzťahov, (3)

$$X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$$

resp.

$$R_d = k_{mod} \cdot R_k / \gamma_M$$

kde je:

$X_k$ , resp. $R_k$	charakteristická hodnota pevnostnej vlastnosti, resp. odolnosti;
$X_d$ , resp. $R_d$	návrhová hodnota pevnostnej vlastnosti, resp. odolnosti;
$k_{mod}$	modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci trvanie zaťaženia a vlhkostné pomery
$\gamma_M$	parciálny súčiniteľ spoľahlivosti materiálu

Pre posudzovanie prvkov z lepeného lamelového dreva sa použije hodnota parciálneho súčiniteľa  $\gamma_M = 1,25$  (3).

Pre posudzovanie prvkov z lepeného lamelového dreva sa použije hodnota modifikačného súčiniteľa  $k_{mod}$  podľa nasledujúcej tabuľky: (3)

*Tabuľka 1 – Hodnoty modifikačných súčiniteľov  $k_{mod}$  pre lepené lamelové drevo podľa EN 1995 resp. EN 14080*

Materiál	Norma	Trieda použitia	Trieda trvania zaťaženia				
			stále	dlhodobé	strednodobé	krátkodobé	okamžité
Lepené lamelové drevo	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,5	0,55	0,65	0,70	0,90

#### *Triedy trvania zaťaženia a triedy použitia*

Pri definovaní návrhových hodnôt sa používajú modifikačné súčinitele, ktoré slúžia na vyjadrenie vplyvu doby počas ktorej pôsobí zaťaženie a vplyvu vlhkosti na zmenu pevnostných charakteristík. Triedy trvania zaťaženia sú vyjadrené pôsobením konštantného zaťaženia, ktoré

v určitom časovom úseku pôsobí na konštrukciu alebo jej časť. Pri premenných zaťaženiach je nutné odhadnúť zatriedenie na základe predpokladaných zmien zaťaženia v čase podľa tabuliek 2 a 3 (3).

Tabuľka 2 – Triedy trvania zaťaženia podľa EN 1995

Triedy trvania zaťaženia	Zoradenie akumulovaného trvania charakteristického zaťaženia podľa veľkosti
stále	dlhšie ako 10 rokov; napr.: vlastná tiaž
dlhodobé	6 mesiacov – 10 rokov; napr. skladované materiály
strednodobé	1 týždeň – 6 mesiacov; napr. úžitkové zaťaženia, sneh
krátkodobé	kratšie ako jeden týždeň; napr. vietor, sneh
okamžité	napr. vietor, mimoriadne zaťaženia napr. náraz

Ako vyplýva z tabuľky, niektoré typy zaťaženia je možno klasifikovať do viacerých tried trvania – napr. sneh alebo vietor. Ako uvádza Eurokód 5 v článku 3.1.6 ods. 2: „pre premenné zaťaženia sa musí stanoviť primeraná trieda na základe zhodnotenia interakcie medzi typickou premennosťou zaťaženia v čase a reologickými vlastnosťami stavebného materiálu“ (3). Zároveň treba pripomenúť, že pri vytváraní kombinácii sa často spoločne vyskytujú viaceré typy zaťaženia, ktoré patria do rôznych tried zaťaženia. V takom prípade treba zohľadniť fakt, že súčasne sa vyskytujúce zaťaženia, ktoré by sa samostatne klasifikovali do rozdielnych tried sa môžu vyskytovať súčasne maximálne počas pôsobenia zaťaženia s najkratšou dobou trvania. Na základe tejto skutočnosti pri vytváraní kombinácií uvažujeme  $k_{mod}$  príslušný pre zaťaženie s najkratšou dobou trvania.

Vplyv vlhkosti na zmenu charakteristík materiálu vyjadrujeme začlenením do takzvaných tried použitia. Trieda použitia 1 je charakterizovaná vlhkosťou stavebného

materiálu zodpovedajúcou teplote 20°C a relatívnej vlhkosti okolitého vzduchu, ktorá prekračuje hodnotu 65% iba počas niekoľkých týždňov v roku (3). Pri triede použitia 1 neprekročí priemerná vlhkosť pri väčšine ihličnatých druhov dreva 12%. Trieda použitia 2 je charakterizovaná vlhkosťou stavebného materiálu zodpovedajúcou teplote 20°C a relatívnej vlhkosti okolitého vzduchu, ktorá prekračuje hodnotu 85% iba počas niekoľkých týždňov v roku (3). Pri triede použitia neprekročí priemerná vlhkosť pri väčšine ihličnatých druhov dreva 20%. Trieda použitia 3 zohľadňuje klimatické podmienky, ktoré spôsobujú vyššie vlhkosti ako pri triede použitia 2.

### *Posudzovanie LLD v medznom stave únosnosti*

Cieľom posúdenia v medznom stave únosnosti (ďalej len MSÚ) je porovnanie napätia vyvolaného pôsobením vonkajšieho zaťaženia a návrhovej pevnosti. Základným predpokladom spoľahlivého a bezpečného návrhu prvku z LLD v súlade s platnými normami je preukázanie, že návrhové napätie spôsobené účinkami vonkajších zaťažení musí byť menšie, nanajvýš rovné hodnote návrhovej pevnosti posudzovaného prierezu pri danom namáhaní.

Vzhľadom na skutočnosť, že drevo je anizotropný materiál a jeho fyzikálne vlastnosti sa menia s orientáciou vlákien, je dôležité venovať náležitú pozornosť pôsobeniu vonkajšieho zaťaženia prvkov z LLD, priebehu a veľkosti vnútorných síl, ich vzájomnej interakcii a to predovšetkým s ohľadom na orientáciu prvku a orientáciu vlákien.

Medzi základné typy namáhania prvkov z lamelového dreva, ktoré treba pri posudzovaní v MSÚ brať do úvahy patrí:

- Namáhanie ťahom v smere vlákien
- Namáhanie ťahom kolmo k vláknám
- Namáhanie tlakom v smere vlákien
- Namáhanie tlakom kolmo na vlákna
- Namáhanie ohybovým momentom
- Namáhanie šmykom
- Namáhanie krútiacim momentom

Medzi kombinované typy namáhania, kedy je nutné zohľadniť možný vplyv vzájomného súčasného pôsobenia viacerých jednoduchých typov namáhania na zníženie odolnosti prierezu patria:

- Namáhanie šikmým tlakom, tlakom pod uhlom
- Interakcia ohybu a ťahu – excentrický ťah
- Interakcia ohybu a tlaku – excentrický tlak

Pri posudzovaní v MSÚ je potrebné zohľadniť tiež vplyv možnej straty stability prvkov na zmenu ich odolnosti. Jedná sa o dva typy:

- Strata stability tlačných prútov;
- Strata stability ohýbaných prútov

Kým prvú poznáme skôr pod názvom vzper tlačných prútov, pri druhej je to klopenie ohýbaných nosníkov. Problematika globálnej straty stability spočíva v tom, že u štíhlych prútov vplyvom špecifického vonkajšieho zaťaženia dochádza k ich postrannému vybočeniu. Toto vybočenie má za následok vznik prídavných napätí, ktoré pochopiteľne negatívnym spôsobom vplyvajú na celkovú odolnosť posudzovaného prierezu. Normy pre posudzovanie drevených prvkov sa s danou problematikou vysporiadali podobne ako normy pre posudzovanie prvkov z ocele, a to zavedením takzvaných súčiniteľov vzpernosti a súčiniteľov klopenia. Súčinitele nadobúdajú hodnotu v rozmedzí od nula do jeden a vyjadrujú zníženie návrhovej pevnosti prierezu pri príslušnom namáhaní nakoľko kritické napätie v posudzovanom prvku je dosiahnuté ešte pred dosiahnutím návrhovej pevnosti.

Ako z vyššie uvedeného vyplýva, na vzper a klopenie sú náchylnejšie štíhle prvky, naopak pri masívnejších prierezoch je vplyv straty stability minimálny. Norma EN 1995 zavádza podmienky medznej pomernej štíhlosti, pri dodržaní ktorých je možné uvažovať súčiniteľ vzpernosti resp. klopenia rovný jednej a teda predpokladať, že k zníženiu odolnosti vplyvom straty stability nedôjde. Pri posudzovaní vzpernej odolnosti je limitným dosiahnutie pomernej štíhlosti, ktoré je rovné 0,5. Pri posudzovaní klopenia nosníkov je limitným dosiahnutie pomernej štíhlosti rovná 0,75 (3). V prípade, že pomerná štíhlosť je väčšia ako tieto hodnoty, je nutné redukovať návrhové pevnosti súčiniteľmi, ktoré popisujem vyššie.

### *Posudzovanie LLD v medznom stave použiteľnosti*

Norma EN 1995 definuje medzné stavy použiteľnosti, ako stavy po prekročení ktorých, už konštrukcia alebo jej časť nevyhovuje požiadavkám na použiteľnosť. Požiadavkami na použiteľnosť rozumieme predovšetkým dodržanie medzných hodnôt priehybov a pretvorení, ktoré je nutné uvážiť nie len z pohľadu estetiky, ale tiež funkčnosti a

bezporuchovej prevádzky počas celej doby životnosti stavby. V rámci posudzovania konštrukcií v medznom stave použiteľnosti sa má uvažovať aj vplyv vibrácií, a to s ohľadom na možné obmedzenie fyzickej a psychickej pohody používateľov, ale tiež negatívny vplyv na doplnkové konštrukcie, technologické vybavenie a podobne (3).

V medzných stavoch sa vo všeobecne musí preukázať, že návrhová hodnota účinku zaťaženia, stanovená na základe pravidiel kombinácií, je menšia, nanajvýš rovná menovitej, maximálnej, limitnej hodnote. V medzných stavoch použiteľnosti ide najčastejšie o posúdenie prihybu prvku, ktorý je vyvolaný vonkajším zaťažením, spravidla kombináciou zaťažení, s maximálnou dovolenou hodnotou. Medzné hodnoty prihybov nosníkov rozdeľuje EN 1995 na dve kategórie – medzné okamžité prihyby a konečné prihyby. Kým v prvom prípade do výpočtu vstupujú premenné zaťaženia, v druhom prípade sa na konečnom prihybe podieľa predovšetkým zložka stáleho zaťaženia vlastnou tiažou a ostatným stálym zaťažením. Ako bolo popísané vyššie, správanie dreva vplyvom vonkajšieho zaťaženia je závislé na čase a samozrejme vlhkosti. Túto skutočnosť pri výpočte konečných prihybov vyjadruje súčiniteľ zväčšenej deformácie v čase definovaný pre príslušnú triedu trvania zaťaženia a triedu použitia podľa nasledujúcej tabuľky (3):

Tabuľka 3 – Hodnoty súčiniteľov  $k_{def}$  pre lepené lamelové drevo podľa EN 1995

Trieda trvania zaťaženia	Trieda použitia		
	1	2	3
stále	0,60	0,80	2,00
dlhodobé	0,50	0,50	1,50
strednodobé	0,25	0,25	0,75
krátkodobé	0,00	0,00	0,30



Odporúčané medzné hodnoty pre okamžité priehyby nosníkov bez voľného konca sú potom  $1/300$  a pre konečné priehyby sa odporúča medzná hodnota konečného priehybu maximálne  $1/200$ , kde „ $l$ “ vyjadruje rozpätie nosníka a teda vzťažnú dĺžku (3). Treba pripomenúť, že ide o odporúčané medzné hodnoty priehybov pre nosníky. Medzné hodnoty priehybov je možné definovať individuálne s ohľadom na predpokladanú prevádzku a s ohľadom na zaužívanú prax a možné dôsledky. V mnohých prípadoch sú medzné hodnoty prípustných deformácií stanovené priamo objednatelom, resp. zadávateľom zákazky.

## **4. Koncepcia návrhu**

### **4.1. Zadanie**

Zadaním diplomovej práce je navrhnúť konštrukciu športovej haly na báze dreva o ocele podľa zadania diplomovej práce v zmysle zásad pre vypracovanie záverečných prác. Súčasťou DP je dispozičné riešenie, návrh a posúdenie vybraných prvkov v medznom stave únosnosti a použiteľnosti v bežnej návrhovej situácii, posúdenie v mimoriadnej situácii za požiaru a vypracovanie príslušnej výkresovej dokumentácie.

### **4.2. Investor a jeho požiadavky**

Navrhovaná športová hala má slúžiť ako priestor pre budúcu prevádzku krytej plavárne pre obyvateľov Mesta Turzovka a obyvateľov príslušnej spádovej oblasti Horných Kysúc na Slovensku. Základným pilierom návrhu bola požiadavka navrhnúť halu, ktorá by mala minimálne 5 typizovaných a štandardizovaných plaveckých dráh dĺžky 25 m a prislúchajúce administratívne, technologické a prevádzkové zázemie zodpovedajúce veľkosti a počtu plaveckých dráh a predpokladanej návštevnosti.

### **4.3. Kapacitné riešenie**

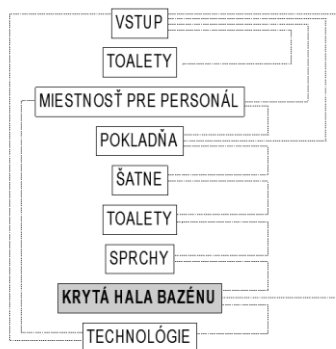
Kapacitné riešenie vychádza zo stanovenia dotknutej spádovej oblasti, analýzy dopytu obyvateľstva po danej službe a následného stanovenia predpokladanej návštevnosti. Presný výpočet s dôrazom na typológiu, urbanizmus, ekonomické zhodnotenie nie je súčasťou tejto diplomovej práce. Výpočet a návrh vychádza zo zaužívaných pravidiel navrhovania budov občianskej vybavenosti – športovísk a bol stanovený podľa odporúčaní a podkladov publikácie Neufert – navrhovanie stavieb. (4) a zároveň s ohľadom na predstavu investora.

### **4.4. Typológia a dispozícia**

Podrobné riešenie dispozície a typológie stavby, stavebných objektov, miestností, zariadení, predmetov, technologického vybavenia a iných funkčných súčastí stavby nie je predmetom tejto diplomovej práce. Pre prevádzkovo a funkčne správny návrh stavby, ktorá má v konečnom dôsledku spĺňať požiadavky investora a plniť svoju funkciu, bolo nutné pristúpiť k aspoň zjednodušenému návrhu z hľadiska dispozície a typológie stavby. Pre tento účel bola použitá opätovne publikácia Neufert – navrhovanie stavieb, ktorá sa problematikou aspoň čiastočne zaoberá.

Pri návrhu dispozície objektu som vychádzal z predbežného kapacitného riešenia a požiadavku investora. Cieľom bolo teda navrhnuť halu, ktorá bude mať 5 plaveckých dráh a súvisiacu prevádzkovú infraštruktúru. Vychádzajúc z tohto požiadavku navrhujem halu, pozostávajúcu z dvoch lodí. Jednotlivé lode haly budú tvoriť jeden funkčný celok, prevádzkovo však budú ich funkcie odlišné. Prvá loď bude priestorom určený pre umiestnenie plaveckého bazéna, druhá loď bude tvoriť zázemie plavárne a bude v nej umiestnená potrebná administratíva, technológia a prevádzkové celky priamo spojené s prevádzkou bazéna – šatne, sprchy, prezliekarne a podobne.

Pre návrh rozmerov haly vychádzame potom z požiadavku samotného športu, pre ktorého prevádzkovanie sa hala navrhuje. Štandardné dĺžky plaveckého bazéna sú 50 m a 25 m. V prípade našej haly je investorom požadovaný bazén s dĺžkou 25 m. Pre tento typ plaveckého bazéna sa požaduje šírka plaveckej dráhy minimálne dva metre s presahom 0,2 metra pred prvou a po poslednej dráhe (5). Z uvedeného pre bazén s piatimi plaveckými dráhami vyplýva rozmer 10,4m x 25m. Ďalej je nutné uvážiť minimálne priestorové požiadavky na priestor okolo bazéna. V priestore štartovacích blokov sa požaduje šírka priestoru min. 3,0 m. V priestoroch pozdĺž bazéna medzi schodmi a stenou haly sa požaduje priechodzia šírka min. 2,5 m. Ďalej je nutné uvážiť priestor vyčlenený na odpočinok návštevníkov – ležadlá. Na tento priestor vyčleníme 2,0 m (4). Na základe uvedených požiadaviek nám vychádza požadovaný rozmer prvej lode 17,4 m x 31 m. Pri dimenzovaní druhej lode vychádzame zo zjednodušeného predpokladu, že plocha potrebná pre ďalšie prevádzkové súbory, technológiu, zázemie a ďalšie musí spĺňať minimálne rovnaké plošné výmery ako plocha vyhradená nie len pre bazén samotný, ale vrátane jeho pridružených voľných plôch. Z uvedeného vyplýva, že aj rozmer druhej lode môže byť 17,4m x 31 m. V konečnom dôsledku navrhujem rozmer športovej haly 2x 17,5 m x 35 m a dispozíciu prevádzky podľa nasledujúceho obrázka:



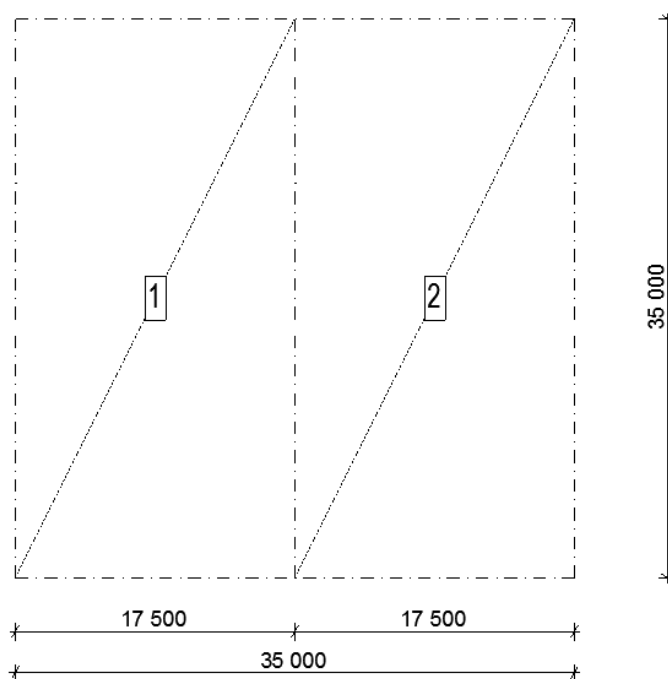
Obrázok 3 - Dispozičný diagram prevádzky plaveckého bazéna

#### 4.5. Architektúra a urbanizmus

Požiadavky na konštrukciu z hľadiska architektúry a urbanizmu neboli bližšie špecifikované. Vychádza sa zo zadania práce, kedy sa uvažuje že konštrukcia má byť na báze dreva a ocele. Hoci ide o špecifikáciu materiálu a teda požiadavku na konštrukčné riešenie, zo širšieho hľadiska môže ísť o požiadavku estetickú a architektonickú. Drevo ako stavebný materiál sa v súvislosti so stavbami pre šport stalo v poslednej dobe materiálom veľmi žiadaným nielen pre jeho vysokú efektivitu z pohľadu pomerov hmotnosť/únosnosť alebo cena/rozpätie, ale tiež pre jeho originálne estetické stvárnenie a dizajn športových objektov. Z tohto pohľadu je preto prirodzené nechať čo najviac vyniknúť podstatu drevenej konštrukcie aj navonok a požiadavku na materiálové riešenie chápať zároveň ako požiadavku architektonickú.

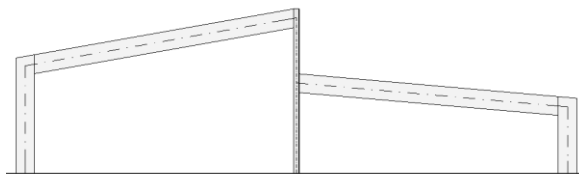
#### 4.6. Geometria a tvarové riešenie

Vychádzajúc z navrhnutých rozmerov dvojloďovej haly  $2 \times 17,5 \text{ m} \times 35 \text{ m}$  je možným pôdorysným riešením dvojnásobný obdĺžnik, respektíve štvorec, podľa nasledujúceho obrázku:

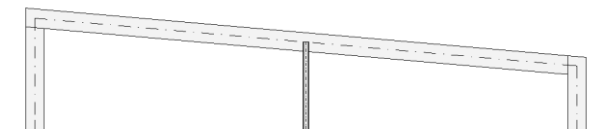


Obrázok 4 - Pôdorysné stvárnenie haly

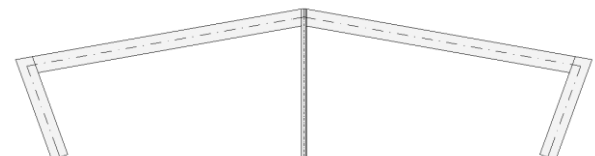
Pre priečne rezy potom vychádzajú možnosti podľa ďalších obrázkov:



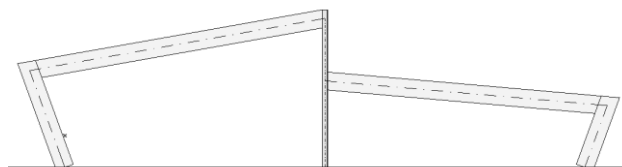
*Obrázok 5 - Varianta rezu č.1*



*Obrázok 6 - Varianta rezu č.2*



*Obrázok 7 - Varianta rezu č.3*



*Obrázok 8 - Varianta rezu č.4*

Ako finálne tvarové riešenie som vybral variantu priečného rezu podľa posledného obrázku, pričom výber tejto varianty bol podmienený predovšetkým subjektívnou sympatiou a k výberu varianty nedošlo na základe hlbšej konštrukčnej, statickej alebo ekonomickej analýzy.

### **4.7. Poloha, situácia, osadenie do terénu, základové pomery**

Športová hala bude slúžiť ako krytý bazén pre voľnočasové plávanie obyvateľov Turzovky a okolitých obcí uvažovanej spádovej oblasti. Jej umiestnenie je preto uvažované v centre spádovej oblasti – v Turzovke, mestskej časti Závodie. Presná situácia a osadenie do terénu nebolo riešené. Predpokladalo sa však, že hala bude umiestnená v nadväznosti na jestvujúci komplex športového areálu, ktorý sa už v predmetnej oblasti nachádza. S takouto výstavbou

počíta aj Územný plán mesta Turzovka. Vymedzené územie je rovinatého charakteru, bez pôvodnej zástavby, pripravené k výstavbe uvažovaného objektu bez nutnosti špeciálnych zemných prác. Ku dňu vypracovania diplomovej práce však neboli známe hydrogeologické pomery a z toho titulu sa nepristúpilo k riešeniu základových konštrukcií. Predpokladajú sa jednoduché základové pomery a priemerná únosnosť základovej pôdy. Dotknutá oblasť nie je poddolovaným územím.

#### **4.8. Voľba konštrukčných materiálov**

Z textu vyššie vyplýva, že v celom koncepte návrhu je kladený dôraz na dominanciu dreva a snahu o súlad a vzájomné rešpektovanie architektonických predstáv a základných konštrukčných zásad z oblasti statiky. Výsledkom je teda návrh priečneho rezu pozostávajúceho z dvoch polorámov z lepeného lamelového dreva, pričom jednotlivé polorámy sú na jednej strane podopierané samotnou základovou konštrukciou, na strane druhej bude polorám podopierať stredový oceľový stĺp.

Systém zavetrovania konštrukcie bude riešený sústavou ztužidiel, ktoré sú uvažované ako tiahla. Pôjde o oceľové prúty plného prierezu pri ktorých je zohľadnená neúčinnosť v tlaku.

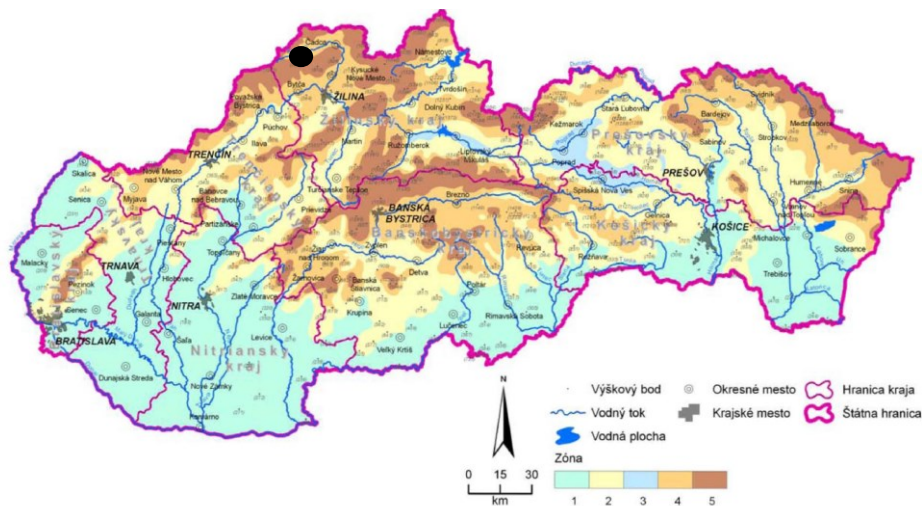
Ďalšie prvky konštrukcie ako napríklad väznice v pozdĺžnom smere haly sa uvažujú taktiež ako drevené, vyrobené z lepeného lamelového dreva. Stĺpy štítovej steny budú taktiež z lepeného lamelového dreva.

Mimo vyššie popísaných nosných prvkov sa v rámci konštrukcie haly uvažuje s opláštením ľahkým obvodovým plášťom tvoreným systémom stĺpikov-priečnikov z ocele. V rámci skladby strechy sa uvažuje s použitím dreveného podhľadu z tatranského profilu, plošného záklopu z OSB dosiek, systémových fólií či už parotesných alebo difúzných, vysokoúčinnnej tepelnej izolácie PIR a plechovej falcovanej krytiny. Materiálovo je vo všeobecnosti konštrukcia haly riešená podľa zadania na báze drevo-ocel'.

#### **4.9. Ďalšie vstupné informácie a predpoklady**

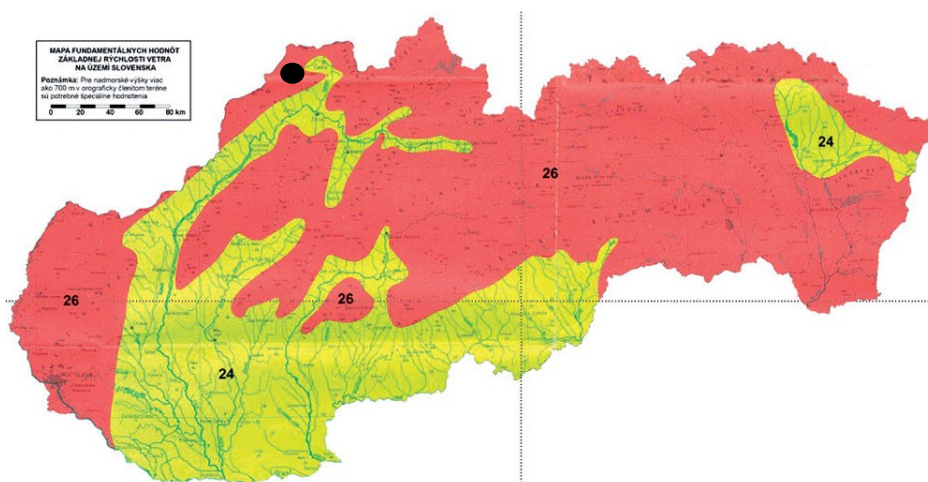
Stavba je situovaná v katastrálnom území mesta Turzovka na Slovensku. Pre návrh zaťaženia snehom bola použitá slovenská norma STN EN 1991-1-3 vrátane slovenskej národnej prílohy. Na základe tejto normy bolo dotknuté územie začlenené do štvrtej zóny charakteristického zaťaženia snehom na povrchu. Ďalší výpočet zaťaženia je súčasťou

statického výpočtu a nie je obsahom tejto kapitoly. Situácia objektu na mape zón charakteristického zaťaženia snehom Slovenskej republiky je znázornený na nasledujúcom obrázku (6):



Obrázok 9 - Mapa zón charakteristického zaťaženia snehom; zdroj EN1991-1-3

Rovnako ako v predchádzajúcom prípade, tak aj pri návrhu zaťaženia vetrom sa vychádzalo zo slovenskej normy, v tomto prípade STN EN 1991-1-4 vrátane slovenskej národnej prílohy. Na základe tejto normy a jej prílohy potom pre náš objekt vychádza fundamentálna hodnota základnej rýchlosti vetra 26 m/s. Ďalší výpočet zaťaženia vetrom je súčasťou prílohy – Statický výpočet. Situovanie objektu v rámci mapy fundamentálnych hodnôt základnej rýchlosti vetra potom vyplýva z nasledujúceho obrázka (7):



Obrázok 10 - Mapa fundamentálnych hodnôt základnej rýchlosti vetra; zdroj: EN1991-1-4

## 5. Konštrukčné riešenie

### 5.1. Varianty konštrukčného riešenia – výhody, nevýhody

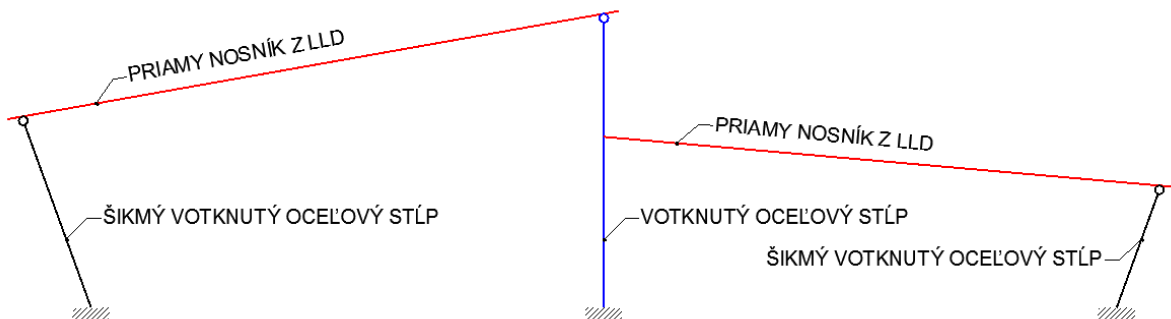
V predchádzajúcej kapitole boli stanovené požadované rozmery haly, bolo definované členenie haly na dve lode a zároveň vybraná jedna z alternatív priečneho rezu, ktorá by najviac vyhovovala subjektívnym architektonickým predstavám. Tieto špecifiká budú pre ďalší návrh nemenné a záväzné. Pre uspokojenie týchto parametrov je však možné pristúpiť k viacerým variantným konštrukčným riešeniam, ktoré môžu byť navonok takmer úplne identické, z konštrukčného hľadiska však úplne rozdielne. Ide predovšetkým o zohľadnenie statického pôsobenia jednotlivých prvkov, ich vzájomného pôsobenia, spolupôsobenia konštrukčných celkov a samozrejme stabilitu a tuhosť celého objektu.

V prípade voľby konštrukčného systému vstupujú do návrhu tiež požiadavky noriem. Napríklad norma EN 1995 požaduje, aby konštrukcia bola navrhnutá a zhotovená takým spôsobom, aby bola schopná plniť požadovaný účel. Táto požiadavka sa zdá byť úplne prirodzenou, avšak norma ďalej udáva, že návrh sa má urobiť so zreteľom na predpokladanú životnosť a zriaďovacie náklady. Norma zároveň stanovuje, že tieto požiadavky majú byť splnené vhodným výberom materiálov, správnym návrhom a okrem ďalšieho aj účelným konštrukčným riešením (3). Ďalej sú to požiadavky priamo všeobecne záväzného charakteru ako vyhlášky a zákony. Na Slovensku je to napríklad Zákon o územnom plánovaní a stavebnom poriadku, ktorý vo všeobecnosti požaduje, aby stavba počas celej ekonomicky odôvodnenej životnosti spĺňala základné požiadavky na stavby, pričom prvou z týchto požiadaviek je mechanická odolnosť a stabilita (8).

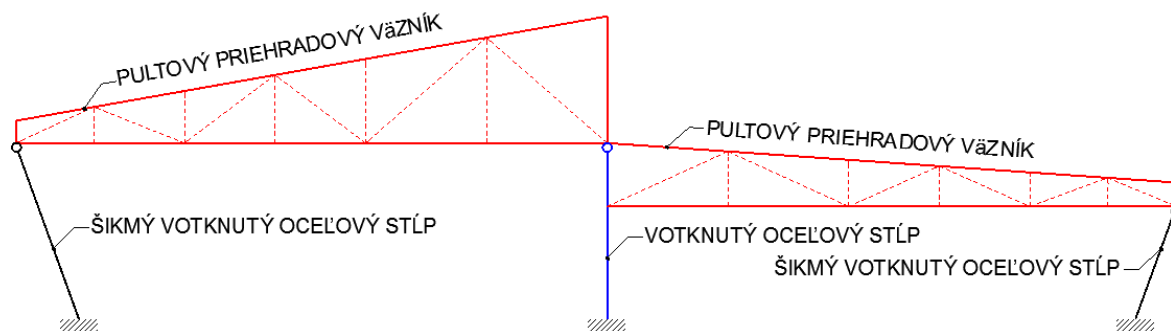
Z uvedeného vyplýva, že normy a zároveň všeobecne záväzné predpisy dávajú do priameho súvisu samotný konštrukčný návrh, životnosť a ekonomickosť. Z tohto dôvodu je voľba konštrukčného systému veľmi dôležitou fázou v procese navrhovania stavby, pri ktorom je nutné brať ohľad na fixné požiadavky investora, požiadavky architekta, požiadavky vyplývajúce zo všeobecne záväzných predpisov, požiadavky noriem, rešpektovať princípy a ustanovenia územného plánu a ďalších územnoplánovacích podkladov a pri tom všetkom brať zreteľ na miestne podmienky, najmä klimatické a hydrogeologické, ďalej hygienické požiadavky, požiadavky požiarnej ochrany a bezpečnosti a v neposlednej rade dbať na trvanlivosť a ekonomickosť návrhu.



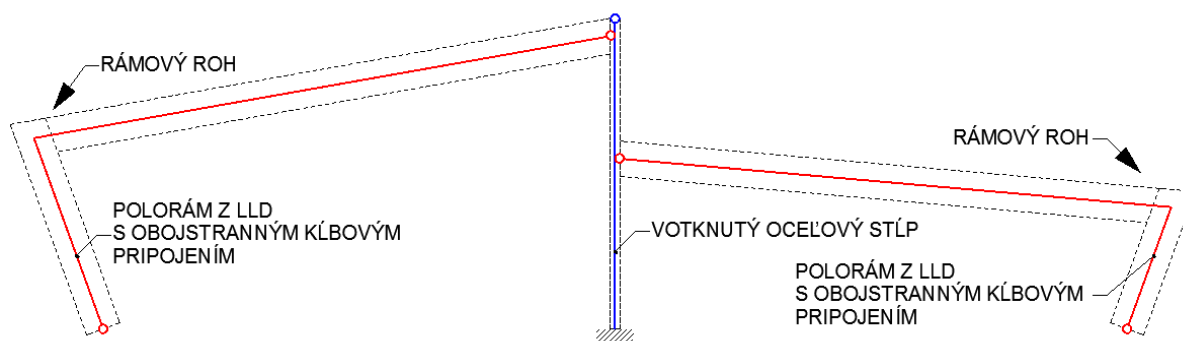
V prípade riešenej športovej haly potom existuje niekoľko alternatív, ktorými môžeme viac či nemej dosiahnuť vyššie uvedené požiadavky. Variantné riešenia sú načrtnuté na nasledujúcich obrázkoch:



Obrázok 11 - Konštrukčná varianta č.1



Obrázok 12 - Konštrukčná varianta č.2



Obrázok 13 - Konštrukčná varianta č.3

Na uvedených obrázkoch sú znázornené niektoré alternatívy, ktoré pripadali do úvahy ako možné riešenia. Prvá varianta pozostáva s dvoch krajných oceľových stĺpov, ktoré by boli ohybovo tuho pripojené k základu. Stredový stĺp by bol tiež oceľový a tiež votknutý do základu. Tieto stĺpy by tvorili podpory pre jednoduché priame nosníky konštantného prierezu. Druhá

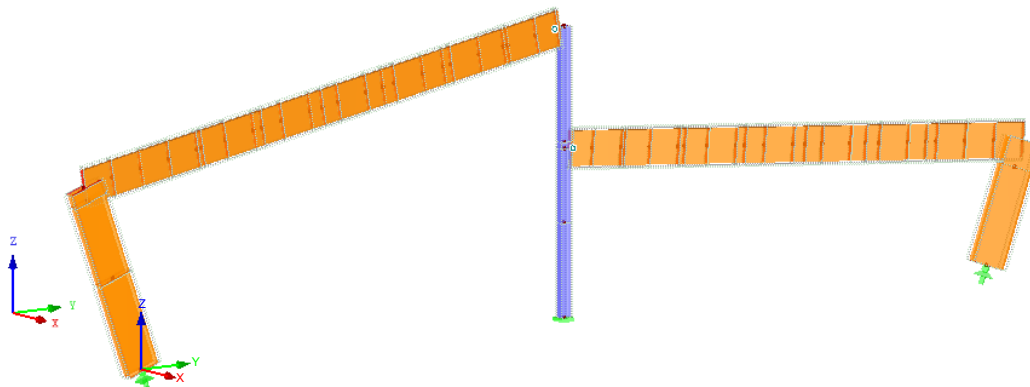
z možností viacmennej kopíruje systém prvej alternatívy, rozdielnym je spôsob preklenutia rozpätia lode haly. Druhá alternatíva počítala s využitím pultových priehradových nosníkov s doskami s prelisovanými trnmi. Tretia možnosť použiť ohybovo tuhý rámový roh a rozpätie preklenúť polorámom z lepeného lamelového dreva.

Možností ako riešiť zadanie tejto práce a zohľadniť vyššie uvedené požiadavky je samozrejme viac a každý inžinier by k danej problematike pristupoval individuálne a možné alternatívy vyhodnotil subjektívne. Osobne prvú variantu vnímam ako najmenej účelnú a najmenej efektívnu. Je tu nutnosť riešiť pomerne náročné ohybovo tuhé spojenia stĺpov a základu a zároveň nepoznáme základové pomery na budúcom stavenisku. Ďalší možný argument proti prvej alternatíve by mohol byť že vodorovným účinkom vetra budú vzdorovať práve votknuté stĺpy. Takto navrhnutý priečny rez nie je z môjho pohľadu príliš efektívny z ekonomického ani statického hľadiska. V druhom prípade je situácia podobná. Tu však môžeme cenovo pomerne efektívne preklenúť dané rozpätie, ktoré by pre väzníkovú konštrukciu nemal byť problém. Tretia alternatíva je z môjho pohľadu najzaujímavejšia, najpraktickejšia a najefektívnejšia. Vo výpočte uvažujem s riešením podľa nasledujúcej podkapitoly.

### 5.2. Výber varianty

Pre ďalší výpočet bola vybraná varianta č.3. V priečnom reze statický systém pozostáva zo stredového stĺpu, ktorý je z oceľového profilu za tepla valcovaného HEB, ktorý je k základu ohybovo tuho pripojený, pričom s tuhosťou pripojenia sa uvažuje nielen v priečnom ale aj pozdĺžnom smere. Stĺp je umiestnený tak, že jeho lokálna pozdĺžna os je rovnobežná z globálnou zvislou osou – neuvažuje sa s jeho naklonením. Valcovaný profil je natočený tak, že jeho lokálna os z, teda os v smere väčšej tuhosti je orientovaná v priečnom smere haly.

Konštrukčný systém v priečnom smere tvoria dva polorámy z lepeného lamelového dreva. Tieto polorámy sú kĺbovo pripojené k základovej konštrukcii – podpora bude prenášať silové účinky vo všetkých smeroch, s ohybovou tuhosťou sa neuvažuje. Kĺbovo budú polorámy pripojené aj k oceľovému stĺpu pričom pri modelovaní konštrukcie sa zohľadni excentrické pripojenie k stĺpu. Súčasťou polorámu bude rámový roh, ktorý musí bezpečne sprostredkovať ohybové momenty, osovú a priečnu silu, ktoré na konštrukcii účinkom vonkajších zaťažení vzniknú. Priečna väzba bude vyzeráť podľa nasledujúceho obrázku:



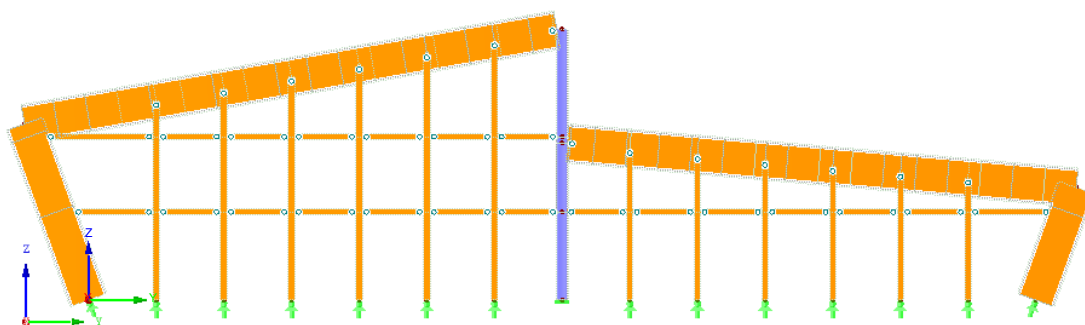
Obrázok 14 - Typický priečny profil haly - perspektíva

Navrhovaná hala má v pozdĺžnom smere 35 m. V tomto smere bude hala rozdelená na 10 polí a teda 11 priečných väzieb. Inak povedané hala bude pozostávať z 11 väčších polorámov lode číslo 1 očíslovaných v súvislom rade od R1.1 do R1.11 a ďalej z 11 menších polorámov lode číslo 2 očíslovaných od R2.1 do R2.11 a súvislom rade 11 stredových oceľových stĺpov očíslovaných v súvislom rade od S1.1 do S1.11.

V pozdĺžnom smere bude konštrukciu tvoriť taktiež sústava drevených väzníc, ktoré budú pôsobiť ako prosté nosníky uložené medzi príslušnými dvojicami polorámov. Uloženie týchto väzníc na polorámy sa uvažuje ako kĺbové pričom bude zohľadnené ich excentrické pripojenie. Ďalej sa v pozdĺžnom smere nachádzajú nosníky medzi jednotlivými dvojicami polorámov alebo stĺpov vo vzdialenosti 3,25 m alebo 3,5 m. Na týchto prvkoch sa neuvažuje aplikácia vonkajšieho zaťaženia. Sú navrhnuté na prenos vodorovných osových síl v pozdĺžnom smere predovšetkým od účinkov vetra. Dôležitú úlohu tiež plnia čo sa týka globálnej stability tlačných alebo ohýbaných prútov – polorámov a stĺpov – nakoľko zmenšujú vzpernú dĺžku.

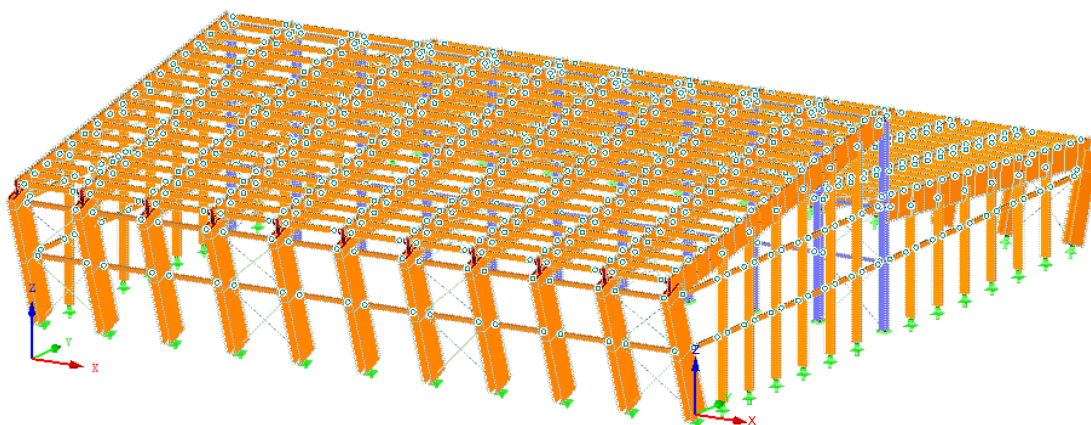
Konštrukčný systém tiež pozostáva z riešenia štítových stien. Tie sú uvažované ako sústava drevených stĺpov bez prerušenia na výšku konštrukcie. Stĺpy budú kĺbovo uložené. Na jednej strane bude podporu tvoriť základová konštrukcia. Podpora bude vyhotovená tak aby zabezpečila prenos síl vo všetkých smeroch. Na druhej strane to bude kĺbové pripojenie na polorámy č.R1.1, R2.1 a R1.11 a R2.11. Stĺpy budú nadimenzované tak aby spoľahlivo preniesli vodorovné sily od účinkov vetra do základu resp. do polorámu. Stĺpy štítovej steny budú namáhané ohybom a zároveň osovým tlakom, nakoľko budú zároveň tvoriť medzipodpory pre príslušný polorám. Proti strate stability vybočením budú zabezpečené sústavou vodorovných nosníkov medzi jednotlivými dvojicami stĺpov. Tie budú vo vzájomných

vzdialenostiach 3,5 m alebo 3,25 m. Na tieto prúty sa neuvažuje aplikácia vonkajšieho zaťaženia. Riešenie štítovej steny sa uvažuje podľa nasledujúceho obrázku:



Obrázok 15 - Schéma prvej a poslednej priečnej väzby – štítovej steny

Tuhosť systému a odolnosť voči vodorovným účinkom vetra bude zabezpečovať systém ztužidiel. Tie budú umiestnené v prvom, štvrtom, siedmom a desiatom poli. Z uvedeného vyplýva, že vzdialenosť ztužidlových polí neprekročí 7 m. Ztužidlá budú v rámci konštrukcie a v rámci daného poľa umiestnené v šikmej rovine steny, v rovine strechy a tiež v rovine, ktorú tvorí rád za sebou idúcich stredových stĺpov. Ztužidlá sú uvažované ako systém ťahaných oceľových prútov plného prierezu a sú modelované ako ťahové prúty s nastavenou nelinearitou – neúčinnosťou v tlaku. Výsledné konštrukčné riešenie je uvažované podľa nasledujúceho obrázka:



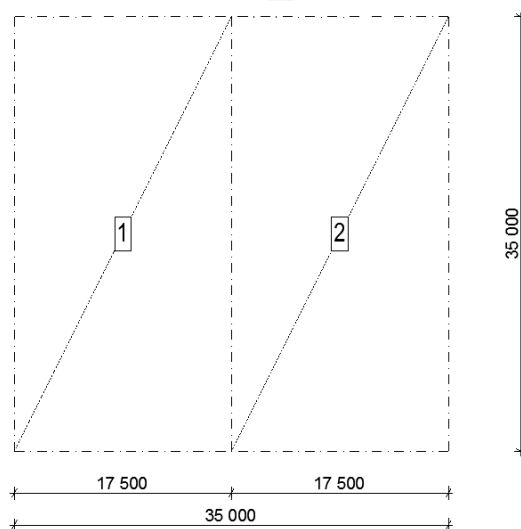
Obrázok 16 - Priestorový model konštrukcie - hmota

## 6. Návrh

### 6.1. Konštrukcia a vstupné parametre pre model

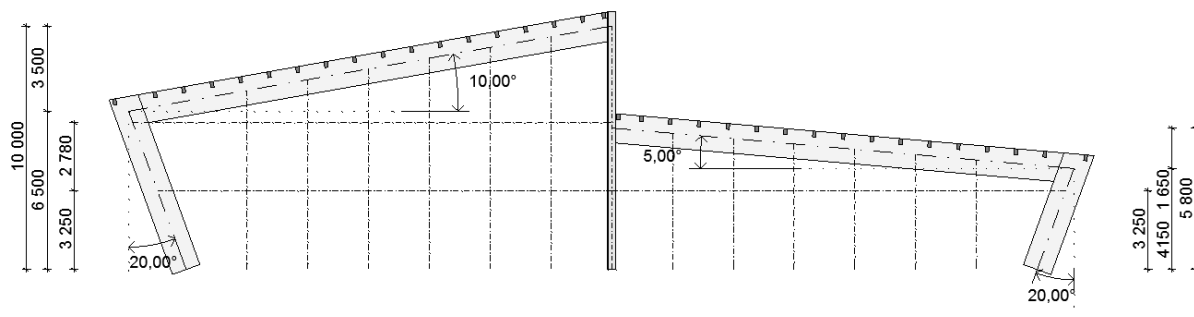
#### *Geometria - pôdorys a rez*

Návrh geometrie pôdorysu haly vychádza z požiadaviek bližšie špecifikovaných v predchádzajúcich kapitolách. Rozmer haly je 35 m x 35 m a pozostáva z dvoch lodí, pričom rozmer prvej aj druhej lode je rovnaký 17,5 m x 35 m.



Obrázok 17 - Geometria pôdorysu

Konečná geometria rezu konštrukcie haly plne vychádza z predchádzajúcej kapitoly, pričom plne rešpektuje zvolenú variantu. Výška haly v najvyššom bode je 10 m.



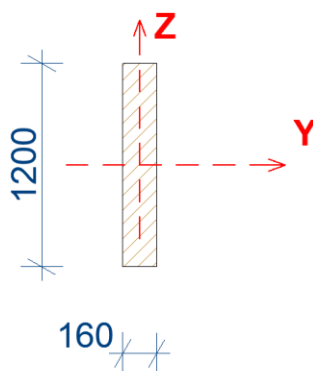
Obrázok 18 - Geometria pričného rezu

#### *Prierezy*

Predbežný návrh prierezov nosných prvkov spravidla vychádza z podmienky únosnosti alebo podmienky priehybu. V procese návrhu bolo stanovené predbežné zaťaženie vybraných

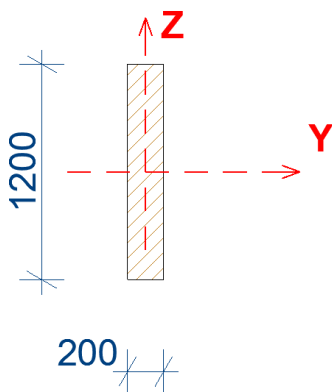
prútov zohľadňujúc vyššie uvedené podmienky a geometriu prvkov, pričom pri predbežnom stanovení zaťaženia sa uvažovalo s charakteristickými hodnotami a následne boli prenasobené príslušnými parciálnymi súčiniteľmi zaťaženia. Výsledné zaťaženie bolo aplikované na jednotlivé prúty a zjednodušene v ruke spočítané predbežné vnútorné sily a priehyby na prvku. Následne bol určený jeden z rozmerov prvku a druhý bol dopočítaný na základe podmienky, že návrhová hodnota napätia alebo vnútornej sily musí byť menšia alebo nanajvýš rovná hodnote odolnosti prípadne medznému priehybu. Pre športovú halu som navrhol prierezy podľa nasledujúcich obrázkov.

Prieče polorámov R1.1; R1.11; R2.1 a R2.11:



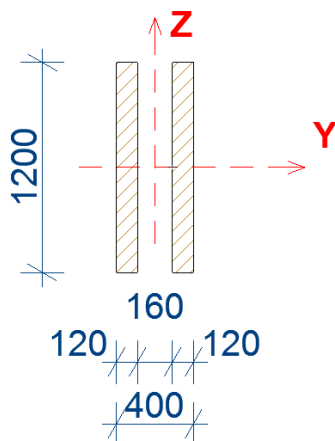
Obrázok 19 - Prierez prieče 1

Prieče polorámov R1.2 – R1.10 a R2.2 – R2.10:



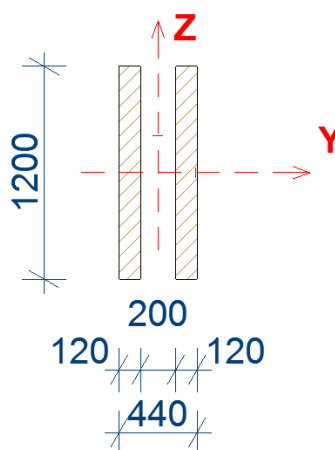
Obrázok 20 - Prierez prieče 2

Stojky polorámov R1.1; R1.11; R2.1 a R2.11:



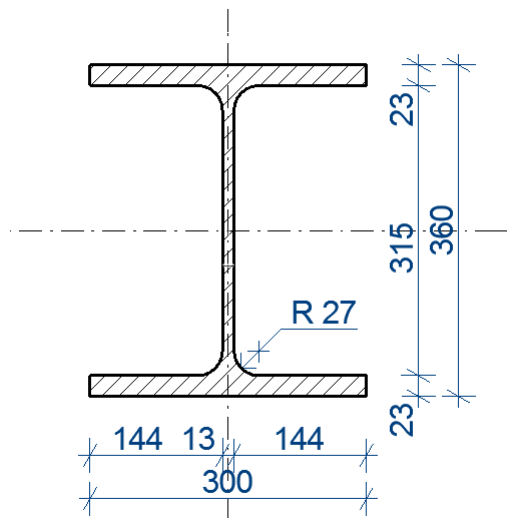
Obrázok 21 - Prierez stojky 1

Stojky polorámov R1.2 – R1.10 a R2.2 – R2.10:



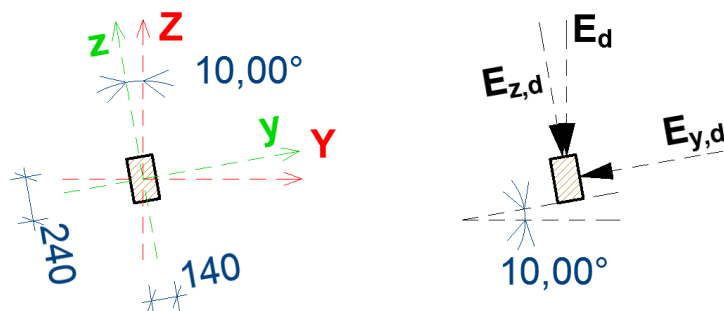
Obrázok 22 - Prierez stojky 2

Stredové oceľové stĺpy HEB360:



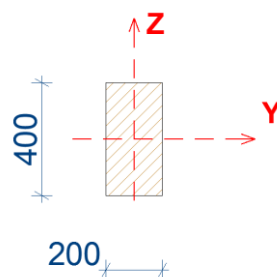
Obrázok 23 - Prierez oceľového stĺpu

Väznice:



Obrázok 24 - Prierez a natočenie väznice

Stĺpy štitovej steny:



Obrázok 25 - Prierez štitového stĺpu



*Trieda trvania zaťaženia, trieda použitia, modifikačný súčiniteľ*

Vzhľadom na skutočnosť, že celý povrch všetkých konštrukčných prvkov z lepeného lamelového dreva bude trvalo chránený proti poveternostným vplyvom trvanlivým uzavretým plášťom a ďalej zohľadňujúc charakter prevádzky, ktorý podmieňuje nutnosť permanentného vykurovania možno predpokladať, že priemerná rovnovážna vlhkosť dreva neprekročí hranicu 12%. Ďalej možno predpokladať, že v prípade, že krátkodobá a výnimočne dosiahne vlhkosť okolitého vzduchu vyšších hodnôt ako 65%, vlhkosť dreva bude vzrastať minimálne. Na základe tohto predpokladu uvažujem triedu použitia 1.

V rámci zaťaženia konštrukcie sa v kombináciách vyskytujú zaťaženia vlastnou tiažou, ostatné stále zaťaženia od vrstiev strešného plášťa a obvodového plášťa, ďalej premenné úžitkové zaťaženia strechy, zaťaženie snehom a zaťaženie vetrom. Vychádzajúc z normy EN 1995 čl. 3.1.7 (2) – „ak kombinácia zaťaženia obsahuje zaťaženia patriace do rôznych tried trvania zaťaženia možno zobrať hodnotu  $k_{mod}$ , ktorá zodpovedá zaťaženiu s najkratšou dobou trvania „ (3), možno uvažovať, že zaťaženie s najkratšou dobou trvania sú zaťaženia vetrom a snehom. Ak predpokladám skutočnosť, že rozhodujúca kombinácia bude obsahovať minimálne jedno z týchto premenných zaťažení, tak vo výpočte ďalej uvažujem určenie súčiniteľa  $k_{mod}$  triedu trvania zaťaženia – krátkodobé.

Modifikačný súčiniteľ pre lepené lamelové drevo, triedu použitia „1“ a triedu trvania zaťaženia „krátkodobé“ je rovný 0,9.

*Materiály, parciálne súčinitele spoľahlivosti materiálov*

Stredové oceľové stĺpy vrátane pozdĺžnych nosníkov medzi týmito stĺpmi budú z ocele triedy S235 (EN 1993-1-1). Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti materiálu  $\gamma_M = 1,0$ .

Pre základné materiálové vlastnosti potom platí:

<b>E</b> (modul pružnosti)	210 000 MPa	(EN 1993-1-1 3.2.6 (1))
<b>G</b> (šmykový modul)	80 769 MPa	(EN 1993-1-1 3.2.6 (1))
<b>v</b> (Poissonov súčiniteľ)	0,30 -	(EN 1993-1-1 3.2.6 (1))
<b>f<sub>y</sub></b> (medza klzu)	235,00 MPa	(EN 1993-1-1 3.2 tab. 3.1)
<b>f<sub>u</sub></b> (medza pevnosti v ťahu)	360,00 MPa	(EN 1993-1-1 3.2 tab. 3.1)

Lepené lamelové drevo priečle a stojky polorámu, stĺpov štítovej steny, väzníc a pozdĺžnych nosníkov vymedzujúcich jednotlivé stojky bude triedy GL24h. Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti materiálu  $\gamma_M = 1,25$ .

Pre základné materiálové vlastnosti potom platí:

<b>E</b> (modul pružnosti)	11600 N/mm <sup>2</sup>
<b>G</b> (šmykový modul)	720 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma$ (objemová tiaž)	3,63 kN/m <sup>3</sup>
<b><math>\alpha</math></b> (súčiniteľ teplotnej rozťažnosti)	$5 \times 10^{-6}$ 1/°C

Pre pevnostné charakteristiky platí:

<b>f<sub>m,k</sub></b> (charakteristická pevnosť v ohybe)	24,00 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.1)
<b>f<sub>m,d</sub></b> (návrhová pevnosť v ohybe)	17,28 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.2)
<b>f<sub>v,k</sub></b> (charakteristická pevnosť v šmyku za ohybu)	2,70 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.1)
<b>f<sub>v,d</sub></b> (návrhová pevnosť v šmyku za ohybu)	1,94 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.2)
<b>f<sub>c,0,k</sub></b> (charakteristická pevnosť v tlaku rovnobežne k vláknám)	24,00 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.1)
<b>f<sub>c,0,d</sub></b> (navrhová pevnosť v tlaku rovnobežne k vláknám)	17,28 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.2)
<b>f<sub>c,90,k</sub></b> (charakteristická pevnosť v tlaku kolmo k vláknám)	2,70 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.1)
<b>f<sub>c,90,d</sub></b> (navrhová pevnosť v tlaku kolmo k vláknám)	1,94 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.2)
<b>f<sub>t,0,k</sub></b> (charakteristická pevnosť v ťahu rovnobežne k vláknám)	16,50 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.1)
<b>f<sub>t,0,d</sub></b> (navrhová pevnosť v ťahu rovnobežne k vláknám)	11,88 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.2)
<b>f<sub>t,90,k</sub></b> (charakteristická pevnosť v ťahu kolmo k vláknám)	0,40 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.1)
<b>f<sub>t,90,d</sub></b> (navrhová pevnosť v ťahu kolmo k vláknám)	0,29 N/mm <sup>2</sup>	(EN 1995-1-1 2.2.3.2)

## 6.2. Výpočetný model

*Kĺby na koncoch prútu:*

Kĺb	Vzťažný	Posuvný kĺb			Momentový kĺb			
č.	systém	$u_x$	$u_y$	$u_z$	$j_x$	$j_y$	$j_z$	Komentár
1	x,y,z	-	-	-	-	+	+	PRIPOJENIE ĽAVEHO POLORAMU R1.x NA STĽP
2	x,y,z	-	-	-	-	+	+	PRIPOJENIE PRAVEHO POLORAMU R2.x NA STĽP
3	x,y,z	-	-	-	-	+	+	PRIPOJENIE STREŠNÝCH VAZNIC NA LLD POLORAM
4	x,y,z	-	-	-	-	+	+	PRIPOJENIE PRIEČNYCH/POZDLŽNYCH NOSNIKOV NA RAM/STĽP PRIEČELIA
5	x,y,z	-	-	-	-	+	+	ZAVETRENIE
6	x,y,z	-	-	-	-	+	+	PRIPOJENIE STĽPU PRIEČELIA K POLORAMU
7	x,y,z	-	-	-	-	+	+	IPE x HEB

*Excentricity prútov:*

Excentr.	Vzťažný	Počiatok prutu - excentricita [mm]			Koniec prutu - excentricita [mm]			
č.	systém	$e_{i,x}$	$e_{i,y}$	$e_{i,z}$	$e_{j,x}$	$e_{j,y}$	$e_{j,z}$	Komentár
1	Lokálny	0,0	0,0	0,0	-200,0	0,0	0,0	PRIPOJENIE ĽAVEHO POLORAMU R1.x a R2.x NA STĽP
2	Lokálny	0,0	0,0	-480,0	0,0	0,0	-480,0	PRIPOJENIE STREŠNÝCH VAZNIC V1 NA LLD POLORAM
3	Lokálny	0,0	0,0	-480,0	0,0	0,0	-480,0	PRIPOJENIE STREŠNÝCH VAZNIC V2 NA LLD POLORAM

*Uzlové podpory:*

Podpora					Podpora			Votknutie			
č.	Na uzloch č.	okolo X	okolo Y	okolo Z	$u_x'$	$u_y'$	$u_z'$	$j_x'$	$j_y'$	$j_z'$	Komentár
1	4,11,18,25,32,39,46,53,60,67,74	0,00	0,00	0,00	+	+	+	+	+	+	PODPORA STĽPOM HEB

2	7,14,21,28,35,42,49,56,63,70,77	-20,00	0,00	0,00	+	+	+	-	-	-	PODPORA RÁMOV R2.x
3	1,8,15,22,29,36,43,50,57,64,71	20,00	0,00	0,00	+	+	+	-	-	-	PODPORA RÁMOV R1.x
4	544-561,568-573	0,00	0,00	0,00	+	+	+	-	-	-	PODPORA STĽPOV STÍTOVEJ STENY

*Zaťaženie – zaťažovacie stavy:*

Zaťažovací stav	Označenie / popis ZS
ZS1	Vlastná tiaž
ZS2	Ostatné stále zaťaženie (vrstvami strešného/stenového plášťa)
ZS3	Úžitkové zaťaženie strechy
ZS4	SN 1.1 - sneh
ZS5	SN 1.2 - sneh
ZS6	SN 1.3 - sneh
ZS7	SN 1.4 - sneh
ZS8	SN 1.5 - sneh
ZS9	VT 1.1.1 Vietor priečny ľavý (+Y) (w+)
ZS10	VT 1.1.2 Vietor priečny ľavý (+Y) (w-)
ZS11	VT 1.2.1 Vietor priečny pravý (-Y) (w+)
ZS12	VT 1.2.2 Vietor priečny pravý (-Y) (w-)
ZS13	VT 1.3.1 Vietor pozdĺžny (+X) (w+)
ZS14	VT 1.3.2 Vietor pozdĺžny (+X) (w-)
ZS15	IMP - imperfekcie

pričom stále zaťaženia vlastnou tiažou rámu a vlastnou tiažou väzníc, stĺpov HEB, stĺpov štítovej steny, pozdĺžny a priečných nosníkov a oceľových ztužidiel boli generované automaticky softvérom na základe geometrie a materiálových vlastností.

Zaťaženie od vrstiev strešného plášťa bolo vypočítané ručne podľa normy EN 1991-1-1. Toto zaťaženie bolo vypočítané a ďalej uvažované ako spojité zaťaženie strešných väzníc pri navrhovanej zaťažovacej šírke nasledovne:

Názov vrstvy (materiál)	Objemová hmotnosť (kg/m <sup>3</sup> )	Hrúbka vrstvy (m)	Plošná hmotnosť (kg/m <sup>2</sup> )	G <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	ZŠ (m)	G <sub>k</sub> (kN/m')
1 Falcovaná strešná krytina Lindap	-	-	4,71	0,05	1,25	0,06
2 Separačná tkanina	-	-	0,30	0,00		0,00
3 Plný záklop OSB	650	0,020	13,00	0,13		0,16
4 Kontralaťovanie 60/40	-	-	4,50	0,05		0,06
5 Tepelná izolácia PIR hr.200 mm	30	0,200	6,00	0,06		0,08
6 Paronepriepustná fólia	-	-	0,20	0,00	1,25	0,00
7 Plný záklop OSB	650	0,020	13,00	0,13		0,16
4 Kontralaťovanie 80/60	-	-	6,50	0,07		0,08
4 Drevený podhl'ad	-	-	25,00	0,25		0,31
5 Technológie	-	-	25,00	0,25		0,31

**Stále zaťaženie na väznicu od vrstiev plášťa celkom:**

**1,23 kN/m**

Zaťaženie od obvodového plášťa bolo stanovené zjednodušene a uvažuje sa so zaťažením 100 kg/m<sup>2</sup>. Toto zaťaženie bolo ďalej uvažované ako spojité zaťaženie stojok jednotlivých rámov pri navrhovanej zaťažovacej šírke.

Zaťaženie strešnej konštrukcie úžitkovým zaťažením bolo navrhnuté pre strechu kategórie H – strechu neprístupnú s výnimkou bežnej údržby a opráv a je uvažované ako spojité zaťaženie strešných väzníc pri navrhovanej zaťažovacej šírke nasledovne:

Kategória úžitkovej plochy **H** (strechy neprístupné, s výnimkou bežnej údržby a opráv)

Názov	Q <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	ZŠ (m)	Q <sub>k</sub> (kN/m')
1 Úžitkové zať. strechy (kat. H)	0,75	1,25	0,94

**Premenné zaťaženie na väznicu celkom:**

**0,94 kN/m**

Zaťaženie snehom bolo stanovené použitím normy EN 1991-1-3 a jej slovenskej národnej prílohy. Zaťaženie snehom bolo stanovené pre trvalú návrhovú situáciu pre konštrukciu osadenú v Turzovke v nadmorskej výške 522 m n. m. Zaťaženie snehom je uvažované ako krátkodobé zaťaženie. Návrh bol prevedený pre sklon strešných rovín  $10^\circ$  a  $5^\circ$ , pre zónu č.4, normálnu topografiu a strešné roviny boli uvažované ako dve pultové strechy. Bol zároveň zohľadnený vplyv naviatia snehom pre strechu, ktorá prilieha k vyššej stavbe.

Zaťaženie snehom pre strešnú rovinu  $10^\circ$  a  $5^\circ$  je uvažované ako spojité zaťaženie strešných väzníc pri navrhovanej zaťažovacej šírke nasledovne:

Tvarový súčiniteľ μ <sub>i</sub> [-]	Súčiniteľ expozície C <sub>e</sub> [-]	Tepelný súčiniteľ C <sub>t</sub> [-]	a [-]	b [-]	A [m]	S <sub>k</sub> [kN.m <sup>-2</sup> ]	S [kN.m- 2]	ZŠ [m]	S [kN.m <sup>-1</sup> ]
0,8	1	1	0,716	430	522	1,93	1,54	1,25	1,93
0,4	1	1	0,716	430	522	1,93	0,77		0,96
Zóna:			4						
Topografia:			normálna (bežná)						
Typ strechy:			pultová						

Zaťaženie snehom vplyvom naviatia je uvažované ako prídavné spojité zaťaženie príslušných strešných väzníc pri navrhovanej zaťažovacej šírke nasledovne:

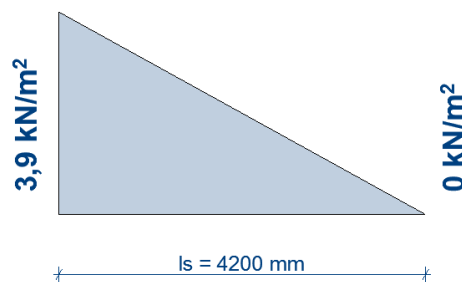
$\mu_2$	(tvarový súčiniteľ zaťaženia snehom pre zohľadnenie naviatia snehu)	2 [-]	$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$
$\mu_s$	(tvarový súčiniteľ zaťaženia snehom pri zošmyknutí snehu z vyššej strechy)	0 [-]	(pre $\alpha = 0^\circ$ )
$\mu_w$	(tvarový súčiniteľ zaťaženia snehom zapríčinený vetrom)	2 [-]	(pre IV. snehovú oblasť)
$l_s$	(dĺžka naviatia snehu)	4,2 m	

Tvarový súčiniteľ $\mu_i$ [-]	Súčiniteľ expozície $C_e$ [-]	Tepelný súčiniteľ $C_t$ [-]	a [-]	b [-]	A [m]	$S_k$ [kN.m <sup>-2</sup> ]	$S$ [kN.m- 2]
<b>2</b>	1	1	0,716	430	522	1,93	<b>3,86</b>

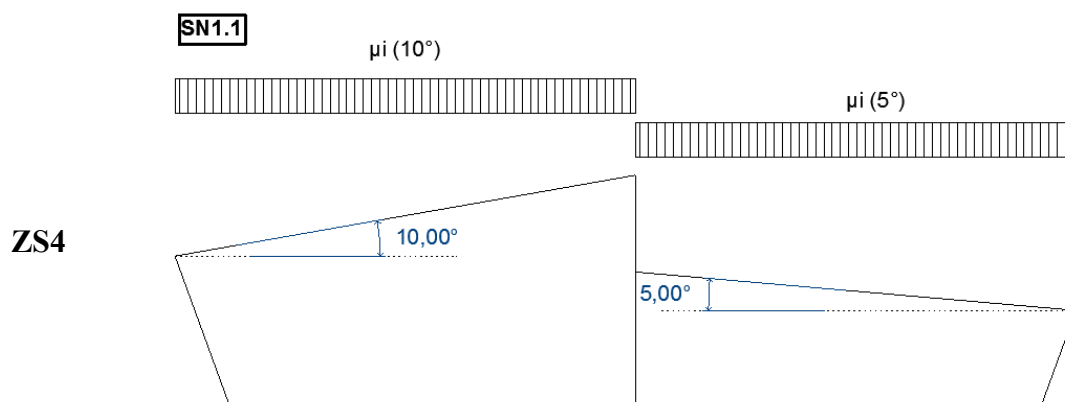
Zóna:	4
Topografia:	normálna (bežná)
Typ strechy:	pultová
Sklon strešných rovín	5 °

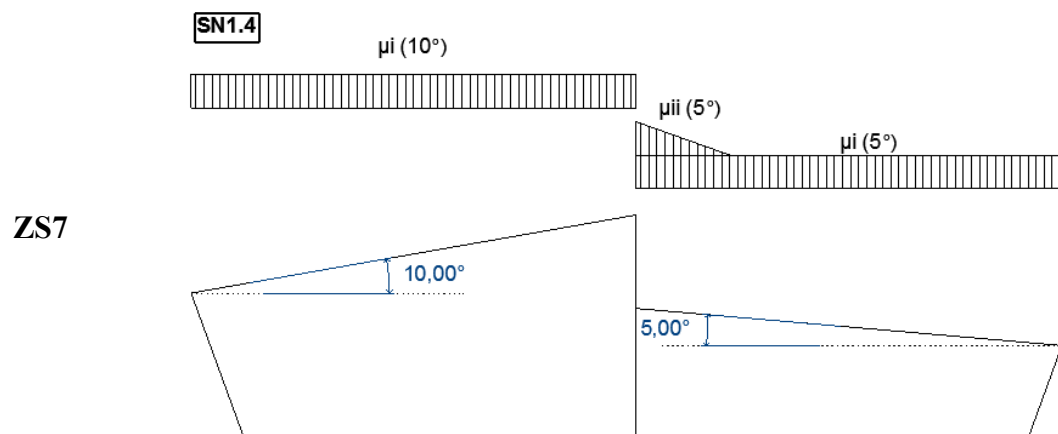
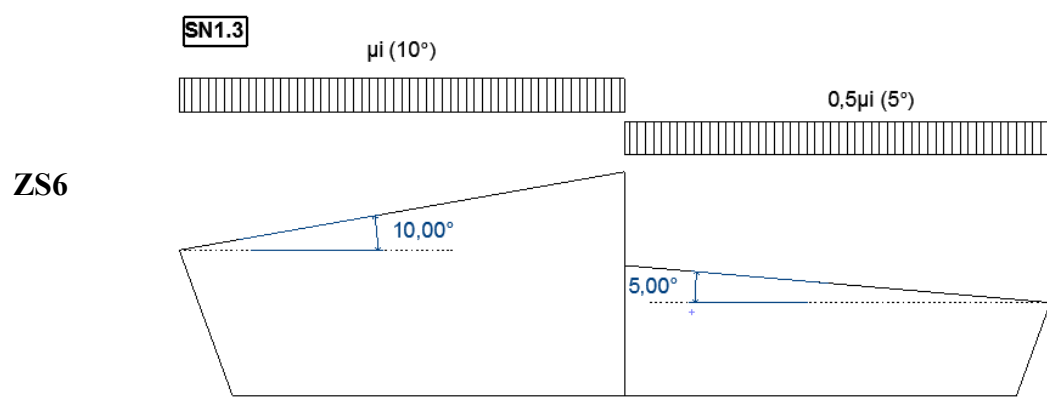
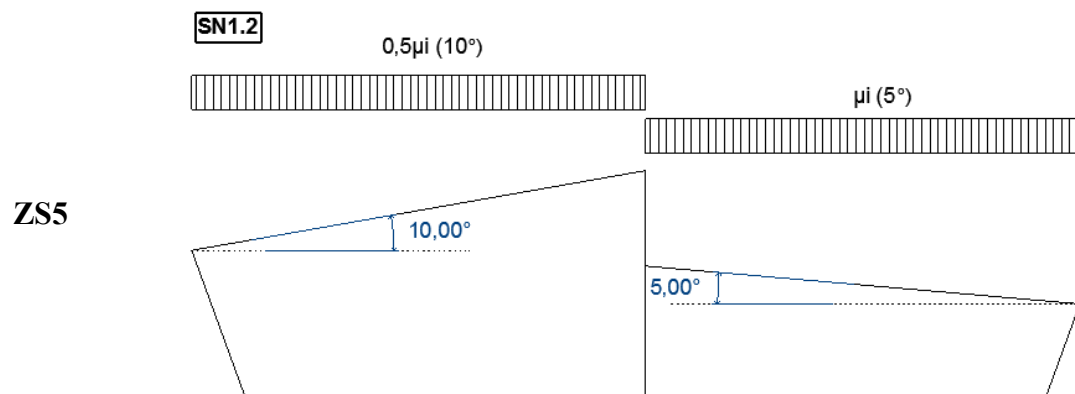
Graficky znázornené:

**Zaťaženie snehom vplyvom naviatia pre  $\mu_2 = 2$  :**

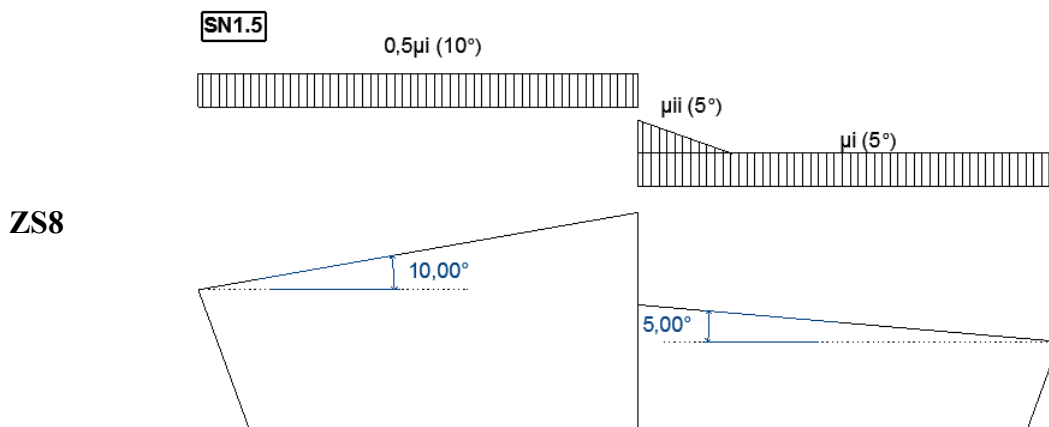


Uvažované zaťažovacie stavy pre zaťaženie snehom vychádzajú nasledovne:









Zaťaženie vetrom bolo vypočítané použitím normy EN 1991-1-4 a jej slovenskej národnej prílohy. Pri návrhu zaťaženia sa vychádzalo z umiestnenia objektu – Turzovka – oblasti prislúcha fundamentálna hodnota základnej rýchlosti vetra 26 m/s. Zaťaženie vetrom je uvažované ako krátkodobé zaťaženie a výpočet bol prevedený pre dočasné a trvalé návrhové situácie. Uvažuje sa s terénom kategórie III, sklonom strešných rovín 5° a 10°, pultovou strechou a výškou nad terénom 10 m.

Zaťaženie vetrom pre daný objekt je uvažované ako spojité zaťaženie strešných väzníc, stojok jednotlivých rámov a stĺpov štítových stien. Zaťaženie vetrom neprenášajú nosníky umiestnené v pozdĺžnom smere medzi stojkami jednotlivých rámov ani nosníky medzi stĺpmi štítovej steny. Pre zaťaženie vetrom platí:

*Základná rýchlosť vetra:*

$v_b$ (základná rýchlosť vetra)	26 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.2 (2) rovn. 4.1)
$c_{dir}$ (súčiniteľ smerovosti)	1 -	(EN1991-1-4 4.2 (2) rovn. 4.1)
$c_{season}$ (súčiniteľ sezónnosti)	1 -	(EN1991-1-4 4.2 (2) rovn. 4.1)
$v_{b,0}$ (fundamentálna hodnota základnej rýchlosti vetra)	26 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.2 (2) rovn. 4.1)

*Stredná rýchlosť vetra:*

$v_{m(z)}$ (stredná rýchlosť vetra vo výške (z))	19,64 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.3.1 (1) rovn. 4.3)
$c_r(z)$ (súčiniteľ drsnosti)	0,76 -	(EN1991-1-4 4.3.1 (1))
terén: (kategória terénu)	III	(EN1991-1-4 4.3.1 tab. 4.1)

$z$ (výška)	10 m	
$z_0$ (dĺžka drsnosti)	0,3 m	(EN1991-1-4 4.3.1 tab. 4.1)
$z_{min}$ (minimálna výška)	5 m	(EN1991-1-4 4.3.1 tab. 4.1)
$z_{max}$ (maximálna výška rovná 200m)	200 m	
$k_r$ (súčiniteľ terénu)	0,22 -	(EN1991-1-4 4.3.2 (1) rovn. 4.5)
$z_{0,II}$	0,05 m	(EN1991-1-4 4.3.2 (1) rovn. 4.5)
$c_0(z)$ (súčiniteľ orografie)	1 -	(EN1991-1-4 4.3.1 (1))
$v_b$ (základná rýchlosť vetra)	26 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.2 (2) rovn. 4.1)

*Smerodajná odchýlka:*

$\sigma_v$ (odchýlka turbulencie)	5,6 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.3.6 (1) rovn. 4.6)
$k_r$ (súčiniteľ terénu)	0,22 -	(EN1991-1-4 4.3.2 (1) rovn. 4.5)
$v_b$ (základná rýchlosť vetra)	26 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.2 (2) rovn. 4.1)
$k_t$ (súčiniteľ turbulencie)	1 -	(EN1991-1-4 4.3.6 (1))

*Intenzita turbulencie:*

$I_v$ (intenzita turbulencie)	0,29 -	(EN1991-1-4 4.3.6 (1) rovn. 4.7)
-------------------------------	--------	----------------------------------

*Maximálny dynamický tlak vetra (vo výške  $z=10m$ ):*

$q_p(z)$ (maximálny tlak vo výške $z$ )	722,1 Pa	>>>	0,722 kPa
$I_v(z)$ (intenzita turbulencie)	0,285 -	(EN1991-1-4 4.3.6 (1) rovn. 4.7)	
$\rho$ (hustota vzduchu)	1,25 kg.m <sup>-3</sup>	(EN1991-1-4 4.5 (1) pozn. 2)	
$v_m(z)$ (stredná rýchlosť vetra vo výške $z$ )	19,64 m.s <sup>-1</sup>	(EN1991-1-4 4.3.1 (1) rovn. 4.3)	

V ďalšej fáze boli stanovené charakteristické tlaky na vonkajšie  $w_e$  a vnútorné  $w_i$  povrchy. Tieto hodnoty sú spolu s rozdelením strešných rovín a stien na jednotlivé časti pre lepšiu prehľadnosť graficky prezentované ako samostatná súčasť Prílohy č. 1 – Statický výpočet a v tejto časti práce ich nebude nutné duplicitne prezentovať.

Návrh a schéma zaťaženia v jednotlivých zaťažovacích stavoch od účinkov vetra je takisto samostatnou súčasťou prílohy vid'. informácia vyššie. Pre prehľadnosť, ale uvádzam zoznam uvažovaných zaťažovacích stavov:

**ZS9** Zaťažovací stav VT 1.1.1 - vietor  
priečny ľavý, vnútorný pretlak

**ZS10** Zaťažovací stav VT 1.1.2 - vietor  
priečny ľavý, vnútorný podtlak

**ZS11** Zaťažovací stav VT 1.2.1 - vietor  
priečny pravý, vnútorný pretlak

**ZS12** Zaťažovací stav VT 1.2.2 - vietor  
priečny pravý, vnútorný podtlak

**ZS13** Zaťažovací stav VT 1.3.1 - vietor  
pozdĺžny, vnútorný pretlak

**ZS14** Zaťažovací stav VT 1.3.2 - vietor  
pozdĺžny, vnútorný podtlak

*Účinky zaťaženia:*

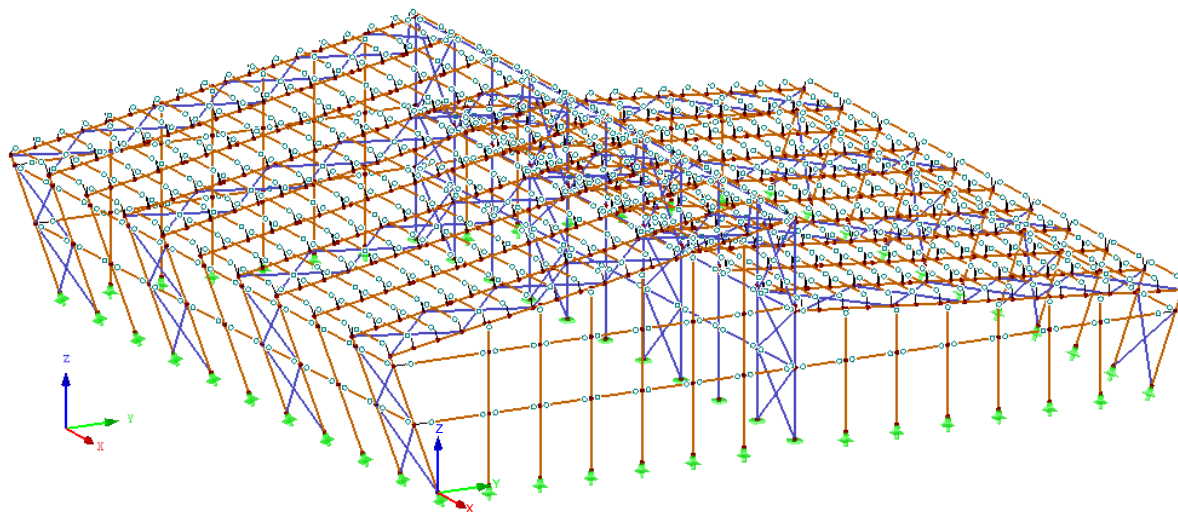
Účinok	Označenie účinku	Kategórie účinkov (EN 1990   STN)	Pôsobenie	Zaťažovacie stavy v účinku					
Ú1	Stále	Stále	-	ZS1					
Ú2	Stále/úžitkové	Stále/úžitkové	-	ZS2					
Ú3	Úžitkové zaťaženia	Úžitkové zaťaženie - kategórie H: strechy neprístupné s výnimkou bežnej údržby a opráv	-	ZS3					
Ú4	Sneh	Sneh (H < 1000 m n. m.)	Rozdielne	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	
Ú5	Vietor	Vietor	Striedavo	ZS10	ZS12	ZS13	ZS14	ZS9	ZS11

*Kombinačné pravidlá:*

Kombin. prav.	Označenie kombinačného pravidla	Návrhová situácia podľa EN 1990   STN	Generované kombinácie účinkov:
KP1	MSÚ rovn.6.10	MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10	KÚ1 ... KÚ16 (16/60)
KP3	MSP	MSP - častá	KÚ17 ... KÚ32 (16/60)
KP4	MSP	MSP - kvázistála	KÚ33 ... KÚ44 (12/60)
KP5	MSP	MSP - charakteristická	KÚ45 ... KÚ60 (16/60)

*Kombinácie zaťažení:*

Vzhľadom na počet generovaných kombinácií a ich rozsah je výpis kombinácií samostatnou súčasťou Prílohy č.1 – statický výpočet.

*Výpočtový model:*

Obrázok 26 - Prútový výpočtový model, zobrazenie podľa materiálu

### **6.3. Výsledky**

*Drevený polorám z lepeného lamelového dreva*

Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

*Drevená väznica*

Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

*Stĺp štítovej steny*

Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

*Oceľový stredový stĺp*

Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

*Strešné ztužidlá (tiahlo)*

Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

### **6.4. Posúdenie**

*Drevený polorám z lepeného lamelového dreva*

Drevený polorám bol posúdený v podľa normy EN 1995-1-1, EN 1995-1-2 v trvalej návrhovej situácii v medznom stave únosnosti a medznom stave používateľnosti a v situácii za požiaru. Polorám z LLD bol posúdený ručne použitím tabuľkového procesoru Excel a automaticky v programe Timber Pro, ktorý je prídavným modulom k programu pre výpočet prútových konštrukcií Dlubal RSTAB v. 8.10.01. Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

*Drevená väznica*

Drevená väznica bola posúdená v podľa normy EN 1995-1-1 v trvalej návrhovej situácii v medznom stave únosnosti a medznom stave používateľnosti. Drevená väznica bola posúdená ručne použitím tabuľkového procesoru Excel a automaticky v programe Timber Pro. Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

### *Stĺp štítovej steny*

Drevený stĺp bol posúdený v podľa normy EN 1995-1-1, EN 1995-1-2 v trvalej návrhovej situácii v medznom stave únosnosti a medznom stave používateľnosti a v situácii za požiaru. Drevený stĺp z LLD bol posúdený ručne použitím tabuľkového procesoru Excel a automaticky v programe Timber Pro. Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

### *Oceľový stredový stĺp*

Oceľový stĺp bol posúdený podľa normy EN 1993-1-1 a EN 1993-1-2 v trvalej návrhovej situácii v medznom stave únosnosti a medznom stave používateľnosti a v situácii za požiaru. Oceľový stĺp bol posúdený ručne použitím tabuľkového procesoru Excel a automaticky v programe STEEL EC3, ktorý je prídavným modulom k programu pre výpočet prúťových konštrukcií Dlubal RSTAB v. 8.10.01. Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

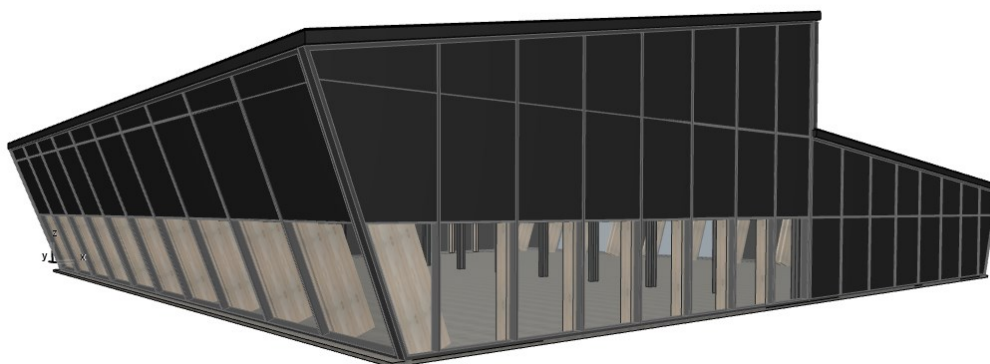
### *Strešné ztužidlo (tiahlo)*

Oceľové ztužidlá boli posúdené podľa normy EN 1993-1-1 v trvalej návrhovej situácii v medznom stave únosnosti. Oceľové ztužidlá boli posúdené ručne použitím tabuľkového procesoru Excel a automaticky v programe STEEL EC3. Výsledky sú prezentované v Prílohe č. 1 – Statický výpočet.

## 7. Záver

Tvorivým výsledkom diplomovej je komplexný návrh objektu športovej haly počnúc návrhom požadovanej kapacity, z toho vychádzajúcim rozmerovým riešením, pokračujúc dispozičným, architektonickým a tvarovým riešením, hmotovým riešením, konštrukčným riešením, návrhom požadovaných a predpokladaných dimenzií nosných prvkov, následným modelovaním výpočtového modelu konštrukcie v špeciálnom softvéri, ďalej stanovenie zaťažení, ich kombinácií, aplikácii príslušných zaťažení na konštrukciu, samotný výpočet vnútorných síl a v konečnom dôsledku posúdenie jednotlivých prvkov konštrukcie na rozhodujúce vnútorné sily v medznom stave únosnosti a posúdenie deformácií v medznom stave používateľnosti. Výstupom je aj posúdenie vybraných prvkov v situácii za požiaru.

Záverom a výstupom diplomovej práce je požadovaný cieľ – návrh športovej haly na báze dreva a ocele.



Obrázok 27 - Architektonické stvárnenie



Obrázok 28 - Konštrukčné riešenie

## 8. Bibliografia

1. **Ing. Mohamad Al Ali, PhD.** *Ocelové a drevené nosné prvky*. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2012. 978-80-553-0968-2.
2. **Kuklík, P.** *Dřevěné konstrukce*. Praha : ČKAIT, 2004. ISBN 80-86769-72-0.
3. **STN EN 1995-1-1.** *Eurokód 5: Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy*. s.l. : ÚNMS SR, 2008.
4. **Neufert, Ernst.** *Neufert - navrhování staveb, 2. české vydanie*. s.l. : Consultinvest, 2000. 8090148662.
5. **Slovenská plavecká asociácia.** *Pravidlá plávania*. Bratislava : s.n., 2013.
6. **STN EN 1991-1-3.** *Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-3: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie snehom*. s.l. : ÚNMS SR.
7. **STN EN 1991-1-4.** *Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom*. s.l. : ÚNMS SR.
8. **PORADCA s.r.o.** *Zákony IV/2016 - zborník úplných znení zákonov z oblasti stavebného práva*. s.l. : PORADCA s.r.o., 2016. ISSN 1335-6127.
9. **Holický, Milan, Marková, Jana a Sýkora, Miroslav.** *Zatížení stavebních konstrukcí - příručka k ČSN EN 1991*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2010. 978-80-87093-89-4.
10. **Dr. Ing. Volker Krämer.** *Dřevěné konstrukce - Příklady a řešení podle ČSN 73 1702, modifikovaný překlad*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2009. 978-80-87438-16-9.



## **9. Prílohy**

Príloha č.1	Statický výpočet
Príloha č.2	Výkresová dokumentácia
Príloha č.3	CD nosič s digitálnym obsahom DP
Príloha č.4	Tlačový protokol – návrh a posúdenie v softvéri RSTAB